

VTT Technical Research Centre of Finland

## Tekstiilikierrätyksen prosessien kustannusmallinnus

Heikkilä, Pirjo; Hinkka, Ville; Harlin, Ali

Published: 07/05/2019

*Document Version*  
Publisher's final version

[Link to publication](#)

*Please cite the original version:*

Heikkilä, P., Hinkka, V., & Harlin, A. (2019). *Tekstiilikierrätyksen prosessien kustannusmallinnus*. VTT Technical Research Centre of Finland.



VTT  
<http://www.vtt.fi>  
P.O. box 1000FI-02044 VTT  
Finland

By using VTT's Research Information Portal you are bound by the following Terms & Conditions.

I have read and I understand the following statement:

This document is protected by copyright and other intellectual property rights, and duplication or sale of all or part of any of this document is not permitted, except duplication for research use or educational purposes in electronic or print form. You must obtain permission for any other use. Electronic or print copies may not be offered for sale.



# Tekstiilikierrätyksen prosessien kustannusmallinnus

Kirjoittajat: Ville Hinkka, Pirjo Heikkilä, Ali Harlin

Luottamuksellisuus: Julkinen

<b>Raportin nimi</b> Tekstiili kierrätyksen prosessien kustannusmallinnus		
<b>Asiakas</b> Business Finland Telaketju-konsortio	<b>Asiakkaan viite</b> 85/31/2017	
<b>Projektin nimi</b> Tekstiilien keräys, lajittelu ja hyödyntämisketju	<b>Projektin numero/lyhytnimi</b> 114213 / Telaketju	
<b>Raportin laatija(t)</b> Ville Hinkka, Pirjo Heikkilä, Ali Harlin	<b>Sivujen lukumäärä</b> 32 / 34	
<b>Avainsanat</b> Tekstiilien kierrätys, keräys, lajittelu, taloudellinen mallinnus	<b>Raportin numero</b> VTT-R-06611-18	
<b>Tiivistelmä</b> <p>Tällä hetkellä suurin osa poistotekstiilistä päättyy sekajätteeksi. Tavoitteena on, että merkittävä osa tästä sekajätteeseen päätyvästä poistotekstiilistä saadaan jatkossa kierrätettyä uusioraaka-aineeksi. Prosessi- ja kustannusmallinnuksen tarkoituksena oli tutkia, minkälaisia vaihtoehtoja tekstiilien kierrätykselle on, mitkä olisivat kustannustehokkaimmat vaihtoehdot, ja mitä kierrätetyn uusioraaka-aineen kilohinnaksi tulisi.</p> <p>Tutkimuksen perusteella kunnallisten jätelaitosten organisoima poistotekstiilin erilliskeräys osana nykyisiä kierrätyspisteitä olisi kätevin tapa kerätä poistotekstiilit kuluttajilta. Keräysautot kuljettaisivat kerätyn poistotekstiilin alueelliseen keräyskeskukseen, jossa se pakattaisiin tiiviisti ja kuljetettaisiin keskitettyyn lajitteluun, jossa poistotekstiili jaettaisiin noin 12-15 eri jakeeseen. Lajiteltu poistotekstiili kierrätettäisiin esimerkiksi mekaanisesti tai kemiallisesti, jolloin siitä saadaan uusioraaka-ainetta.</p> <p>Yhteistyö uudelleenkäytettäviä tekstiilejä keräävien hyväntekeväisyysorganisaatioiden kanssa on tärkeää jätehierarkian tavoitteiden toteuttamiseksi. Hyväntekeväisyysorganisaatiot voisivat esimerkiksi erotella uudelleenkäytettävät tekstiilit muusta poistotekstiilistä alueellisissa keräyskeskuksissa. Samassa voitaisiin myös poistaa sellainen haitallinen aines, joka voi pilata koko kierrätykseen soveltuvan poistotekstiilierän.</p> <p>Poistotekstiilin kierrättämisen haasteita ovat muun muassa tekstiilituotteiden monimateriaalisuus, pienet ja hajanaiset materiaalivirrat, materiaalien epäpuhtaudet sekä käsittely- ja kierrätysprosessien kalleus. Kierrätyskustannuksia voitaneen kuitenkin pienentää niin paljon, että kierrätetty tekstiilimateriaali on laadultaan ja hinnaltaan yhtä kilpailukykyistä kuin uusista raaka-aineista tehty materiaali. Tämä edellyttää kuitenkin sitä, että tekstiilien erilliskeräys järjestetään tehokkaasti, kuluttajat saadaan motivoitua kierrätykseen ja uusimmat lajittelu- ja kierrätysteknologiat otetaan käyttöön.</p>		
<b>Luottamuksellisuus</b>	Julkinen	
<b>Tampere 2.5.2019</b> <b>Laatija</b>	<b>Tarkastaja</b>	<b>Hyväksyjä</b>
Ville Hinkka Erikoistutkija	Ali Harlin Tutkimusprofessori	Kristian Salminen Teknologiapäällikkö
<b>VTT:n yhteystiedot</b> VTT, Ville Hinkka, PL 1000, 02044 VTT, <a href="mailto:ville.hinkka@vtt.fi">ville.hinkka@vtt.fi</a>		
<b>Jakelu (asiakkaat ja VTT)</b> VTT, Business Finland, Telaketju-konsortio		
VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.		

## Alkusanat

---

Telaketju on yhteistyöverkosto, jonka tavoitteena on edistää tekstiilien kierrätystä. Verkoston hankkeissa rakennetaan poistotekstiilien lajittelu- ja hyödyntämisketjun ekosysteemiä Suomessa. Tämä on tapahtunut käynnistämällä samanaikaisesti erilaisia toimenpiteitä sekä tutkimus- ja kehitystoimintaa liittyen tekstiilien keräykseen, lajitteluun, jatkojalostukseen ja tuotekehitykseen. Tutkimusorganisaatioiden ja yritysten yhteistyötä ovat rahoittaneet Business Finland (aiemmin Tekes) sekä Suomen Ympäristöministeriö (YM). Tämä työ ja raportti on tehty Telaketju Tekes -projektin mallinnusosuudessa.

Jotta poistotekstiilien käsittelystä ja tekstiilikierrätyksestä voitaisiin saada liiketoimintaa Suomessa, näiden prosessien kustannusvaikutukset on ymmärrettävä. Siksi hankkeessa haluttiin rakentaa laskentamalli, jonka avulla voidaan arvioida ja verrata eri prosessivaihtoehtojen kustannusvaikutuksia sekä tuotettavia poistotekstiiliraaka-ainemääriä ja jonka pohjalta voidaan luoda kustannusarvioihin perustuvia ehdotuksia poistotekstiilin kierrättämiseksi Suomessa.

Käytännön mallinnustyön suoritti VTT:n erikoistutkija Ville Hinkka. Erikoistutkija Pirjo Heikkilä ja tutkimusprofessori Ali Harlin toimivat asiantuntija-apuna tekstiilien ja niiden prosessien osalta. Tekstiilien keräyskustannusten arviointiin saatiin asiantuntija-apua Lounais-Suomen Jätehuollosta, joka myös toimitti mallinnuksessa hyödynnettyä aineistoa. Lisäksi lukuisat YM- ja Tekes-hankkeiden asiantuntijat jakoivat tietotaitoaan nykyisen tekstiileihin liittyvän toimijaverkoston kuvaamiseksi sekä mallinnettavan kokonaisprosessin hahmottamiseksi.

Telaketju-verkostossa kehitetään kotimaiseen osaamiseen perustuvaa ekosysteemiä, jossa monialaisella yhteistyöllä luodaan uutta, vahvaa yritystoimintaa. Tämän raportin syntyyn ovat tutkimusorganisaatioiden lisäksi vaikuttaneet Telaketju-Tekes projektissa mukana olleet yritykset Pure Waste Textiles, Touchpoint, Soften, Recci, Tramel, Remeo, Paptic, MJV Sähkö, Ilmakunnas, Finlayson, Lounais-Suomen Jätehuolto, SOL Pesulapalvelut, Infinited Fibre Company, Suominen, Globe Hope ja Familan. Lisäksi raporttiin on sisällytetty tietoa myös YM-hankkeen puolelta. Raportin tekijät haluavat kiittää asiantuntijoita sekä Telaketjun partnereita ja rahoittajia yhteistyöstä ja avusta!

Tampereella 6.5.2019

*Tekijät*

## Sisällysluettelo

<b>Alkusanat .....</b>	<b>2</b>
<b>Sisällysluettelo.....</b>	<b>3</b>
<b>Termit ja lyhenteet .....</b>	<b>4</b>
<b>1. Johdanto.....</b>	<b>5</b>
<b>2. Mallinnuksen tavoitteet ja rajaukset.....</b>	<b>7</b>
<b>3. Tutkimusmenetelmät .....</b>	<b>8</b>
<b>4. Taustatietoa liittyen tekstiilien kierrätykseen .....</b>	<b>9</b>
4.1 Arvioita poistotekstiilin määrästä Suomessa .....	9
4.2 Kotitalousjätteen kerääminen Suomessa.....	9
<b>5. Mallinnettavat prosessit.....</b>	<b>11</b>
5.1 Keräys .....	11
5.2 Keräyskeskukset .....	12
5.3 Lajittelu .....	12
5.4 Kuljetukset .....	13
5.5 Tekstiilien käsittely .....	14
5.6 Yhteenvedo esitetyistä prosesseista .....	14
<b>6. Laskentamalli poistotekstiilimateriaalin kustannusten arviointiin .....</b>	<b>16</b>
6.1 Keräyksen mallintaminen .....	16
6.2 Lajittelun mallintaminen .....	21
6.2.1 Lajittelunopeus .....	21
6.2.2 Lajittelussa työskentelevien palkat ja muut lajittelun kustannukset.....	21
6.2.3 Lajittelukustusten lukumäärä .....	21
6.3 Kuljetusten mallintaminen .....	22
6.4 Poistotekstiilin esikäsittely.....	22
6.5 Poistotekstiilin kierrätys.....	23
6.6 Lähtöoletukset mallia testatessa.....	24
<b>7. Mallin antamat tulokset.....</b>	<b>25</b>
7.1 Keräys- ja lajittelukustannukset.....	25
7.2 Mekaanisen kierrätyksen kustannukset.....	26
7.3 Kemiallisen kierrätyksen kustannukset.....	27
<b>8. Yhteenvedo ja johtopäätökset.....</b>	<b>28</b>
<b>Kirjallisuus.....</b>	<b>31</b>
<b>Liite 1 - Haastatellut henkilöt ja tehdyt yritysvierailut .....</b>	<b>33</b>
<b>Liite 2 - Excel laskentataulukko .....</b>	<b>34</b>

## Termit ja lyhenteet

---

Kaikki tekstiilikierätykseen liittyvät termit eivät vielä ole täysin vakiintuneita tai yksiselitteisiä. Alla esitellään muutaman termin määritelmät, joita on käytetty tässä raportissa:

Pre-consumer poistotekstiili	Uutta vastaava poistotekstiili, joka ei ole ollut käytössä. Sisältää muun muassa tekstiiliteollisuuden leikkuujätteet ja virhe-erät sekä eri toimitusketjun osapuolien ylijäämävarastot.
Post-consumer poistotekstiili	Kulunut poistotekstiili, joka on poistettu käytöstä. Sisältää kotitalouksien poistojen lisäksi muiden käyttäjien, kuten yritysten ja julkisten toimijoiden, poistot.
Mekaaninen kierrätys	Tekstiilien kierrätys kuitutasolla. Poistotekstiili avataan repimis- ja avaamisprosessien avulla kuituiksi, joita voi hyödyntää tekstiilien tuotannossa sellaisenaan tai sekoitettuna uuteen kuituun.
Kemiallinen kierrätys	Tekstiilimateriaalien kemiallinen prosessointi uusiokuidun raaka-aineeksi. Sisältää kierrätyksen sekä polymeerien tasolla liuotusprosessissa että kierrätyksen monomeeritasolla uudelleenpolymeroitintiprosessissa. Mallin laskennassa käytetty kemiallinen prosessi on puuvillan liuotukseen perustuva kierrätys.
Terminen kierrätys	Termoplastisten synteettisten tekstiilimateriaalien kierrätys sulaprosessoinnin kautta uusiokuidun raaka-aineeksi.

## 1. Johdanto

---

Merkittävä edellytys poistotekstiilin nykyistä laajamittaisemmalle käytölle on kierrätetyn raaka-aineen riittävän alhainen hinta suhteessa uusiin materiaaleihin. Vaikka kierrätetyn raaka-aineen hinta olisikin alkuvaiheessa jonkin verran uusia materiaaleja korkeampi, arviot sen hintatasosta auttavat suunniteltaessa kierrätettyjen materiaalien käyttöön perustuvaa liiketoimintaa.

Tällä hetkellä suurin osa poistotekstiileistä päättyy sekajätteeseen eli ne poltetaan energiaksi. Joissakin tapauksissa tämä on ainoa vaihtoehto, sillä esimerkiksi öljyisiä ja rikkinäisiä tekstiilejä ei kannata kierrättää nykytekniikoilla. Suuri osa poltettavaksi päätyvästä tekstiilistä voitaisiin kuitenkin hyödyntää eri tavoin; suoraan sellaisenaan, osana uutta tuotetta tai kierrätettynä uusioraaka-aineena.

EU:n jätedirektiivi 2008/98/EC määrittelee jätteen ja antaa ohjeet sen käsittelyyn yleisellä tasolla (Euroopan Komissio, 2008). Direktiivin esittämä jätehierarkia määrittelee tärkeysjärjestyksen, jonka mukaisesti jätteeseen tulisi suhtautua. Tärkeimpänä tavoitteena on ehkäistä jätteen syntyä, mutta kun jätettä muodostuu, sen käsittelyssä tulisi pyrkiä seuraavaan järjestykseen: uudelleenkäyttö, kierrätys, muu hyötykäyttö sekä loppukäsittely energiana.

Poistotekstiilit voidaan jakaa kahteen ryhmään: 1) uutta vastaavat materiaalit (*pre-consumer* materiaalit), johon kuuluvat tekstiilituotannon sivuvirrat, kuten leikkuu- ja lankahukat, sekä vähittäiskaupan myymättömät tuotteet, sekä 2) käytössä olleet tekstiilit (*post-consumer* materiaalit), joita käyttäjä ei enää tarvitse. Tekstiiliteollisuuden sivuvirtojen (ylijäämien) uusiokäyttö ja kierrätys on huomattavasti yksinkertaisempaa kuin käytössä olleiden tekstiilien, koska niiden laatu on lähes uutta vastaavaa ja tunnettu. Ylijäämien sisältämät raaka-aineet tiedetään tarkasti eikä niihin ole yleensä ehtinyt kerääntyä esimerkiksi kierrätystä vaikeuttavia asioita, kuten likaa.

Käytössä olleen poistotekstiilin uudelleenkäyttö ja erityisesti niiden kierrätys on sen sijaan huomattavasti haasteellisempaa. Ensinnäkin, tällaiset poistotekstiilierät koostuvat yleensä sekalaisista tuotteista, ja jopa yksittäisen tuotteen materiaalikoostumuksen tarkka selvittäminen voi olla vaikeaa. Jotkut poistotekstiilierät, kuten hotellin tai risteilyaluksen käytöstä poistamat vuodevaatteet, ovat kuitenkin koostumukseltaan samankaltaisia ja tunnettuja. Toiseksi, käytettyjen poistotekstiilien kunto vaihtelee. Merkittävä osa käytetystä poistotekstiilistä on periaatteessa uuden veroista tai kelpaa käytettäväksi alkuperäisessä tarkoituksessaan. Osa on sen sijaan rikkinäistä tai sisältää sellaista likaa, joka ei lähde normaalissa pesussa. Kolmanneksi, etenkin vaatteet sisältävät kiinteitä osia, kuten vetoketjuja ja nappeja. Esimerkiksi vetoketjun rikkoutuminen on merkittävä haaste tuotteen uudelleenkäytölle, mutta toisaalta sen olemassaolo hankaloittaa tuotteen materiaalin kierrätystä.

Ihanteellisessa tapauksessa kerätty poistotekstiili lajiteltaisiin ja hyödynnettäisiin mahdollisimman pitkälle jätehierarkian mukaisesti. Tällöin mahdollisimman suurta osaa poistotekstiileistä käytettäisiin alkuperäisessä tarkoituksessaan tai hyödynnettäisiin mahdollisimman vähäisen käsittelyn jälkeen osana uutta tuotetta. Näihin tarkoituksiin sopimaton tekstiili kierrätettäisiin materiaalina, otettaisiin muuhun käyttöön esimerkiksi pyyhintätuotteena, tai lopulta poltettaisiin energiantuotannossa.

Jätehierarkian toteutumisessa tekstiilien osalta on kuitenkin haasteita. Ensinnäkin, hierarkian eri tasoihin kuuluvat tekstiilijakeet pitäisi kerätä erikseen ja pitää erillään. Usean keräysjakeen mallissa kuluttajan tai muun poistotekstiilin tuottajan pitäisi siten tietää, mihin jätehierarkian mukaiseen käyttötarkoitukseen kukin poistotekstiili soveltuu. Tällöin välttyään esimerkiksi siltä, että likainen vaate pilaisi samaan keräysastiaan päätyneen hyvän tekstiilin ja estäisi sen uudelleenkäytön alkuperäisessä tarkoituksessaan. Tämä on luultavasti liian vaativa tavoite. Toiseksi, vaikka hyväntekeväisyysjärjestöt ovat taitavia löytämään heille lahjoitetuille vaatteille markkinoita kehitysmaissa, huonokuntoisten vaatteiden kuljettaminen toiselle puolelle maapalloa voidaan joissakin olosuhteissa nähdä jäteongelman siirtämisenä kehitysmaihin. Tällöin eettisesti kestävämpi ratkaisu olisi niiden toimittaminen materiaalikierrätykseen.

Hyväntekeväisyysjärjestöillä sekä kuntouttavaa työtoimintaa harjoittavilla toimijoilla on paljon kokemusta sellaisten tekstiilien käsittelystä, joita voidaan käyttää uudelleen alkuperäisessä

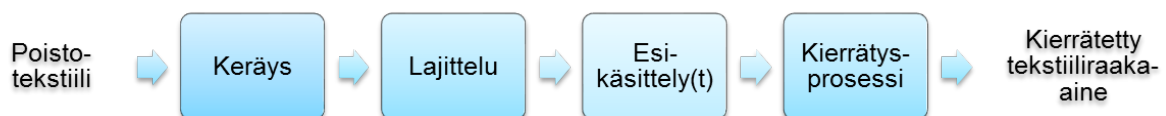


tarkoituksessaan. Näillä toimijoilla voi myös olla osaamista ja työvoimaa arvokkaampien uudelleenkäytettävien tekstiilien huoltamiseen (esim. puuttuvan napin ompelu). Mikäli uudelleen käytettävät poistotekstiilit saadaan eroteltua muusta poistotekstiilimateriaalista, niille on myös kysyntää. Suomessa on myös joitakin yrityksiä, kuten Globe Hope ja Touchpoint, sekä lukuisia käsityöläistoimijoita, jotka hyödyntävät poistotekstiilien kangasmateriaalia osana uusia tuotteita. Jos tällainen materiaali pystytään erottelemaan muusta poistotekstiilistä, sille löytyy siten jo tällä hetkellä kysyntää.

Poistotekstiilin kierrättäminen materiaalina on sen sijaan vaikeampaa. Tekstiilien kierrätysmenetelmät voidaan jakaa niiden prosessointitavan mukaan kolmeen luokkaan: mekaaninen, kemiallinen ja terminen kierrätys. Mekaanisessa kierrätyksessä tekstiilijätteestä saadaan kuituraaka-ainetta mekaanisesti repimällä. Tämä menetelmä soveltuu sekä yhdestä että useammasta kuitumateriaalista valmistetuille tekstiileille. Koska kuidut hyödynnetään sellaisenaan uusien tuotteiden valmistuksessa, kuituraaka-aineen tulisi kuitenkin olla mahdollisimman puhdasta.

Kemiallisessa kierrätyksessä poistotekstiili prosessoidaan kemiallisesti uuden kuituraaka-aineen tuottamiseksi. Kuitujen polymeeriraaka-aine voidaan liuottaa ja liuos kehrätä uudeksi kuiduksi. Esimerkiksi puuvillaa voidaan liuottaa ja valmistaa selluloosamuuntokuiduksi (Heikkilä ym., 2018; Lenzing, 2016; Palme, 2017). Vastaavasti akryyli voidaan liuottaa ja valmistaa uudelleen akryylikuiduksi (Yamasaki, 2004). Synteettisten, muovipohjaisten kuitujen polymeerirakenne voidaan myös hajottaa ja palauttaa kemiallisen prosessin avulla. Tällöin kierrätetty kuitu vastaa ominaisuuksiltaan uutta kuitua. Uudelleenpolymeeroinnin avulla voidaan kierrättää muun muassa polyesteriä (Paszun ja Spychaj, 1997) ja polyamidia (Aquafil, 2018). Kemiallinen kierrätysprosessi on tarkka käsiteltävän raaka-aineen suhteen, sillä kullakin polymeerillä on omat liuottimensa ja reaktionsa. Tällöin prosessoitavan tekstiilin olisi hyvä koostua vain yhdestä raaka-aineesta. Tekstiilin likaisuus ei kuitenkaan ole välttämättä ongelma, sillä epäpuhtauksia voidaan poistaa kierrätysprosessin aikana.

Terminen kierrätys tarkoittaa tässä tapauksessa niin kutsuttujen termoplastisten synteettisten kuitujen sulatusprosessia. Sulatettua kuituraaka-aineita, polymeeriä, voidaan käyttää sekä uusien kuitujen että muiden muovituotteiden valmistuksessa. Koska poistotekstiileistä saatava muovi on usein liian heterogeenistä käytettäväksi tekstiilituotteiden uusioraaka-aineena, terminen kierrätys soveltuu lähinnä pre-consumer poistotekstiilin kierrätykseen (Fattahi Meyabadi ym., 2010) tai tekstiilien hallittuun suljettuun kiertoon (DutchAwareness, 2018). Siksi terminen kierrätyksen tarkastelu on jätetty tämän raportin ulkopuolelle. Kierrätysmateriaaliksi kelpaavan poistotekstiilin käsittelyvaiheet kierrätetyksi tekstiiliraaka-aineeksi on kuvattu yksinkertaistetusti kuvassa 1. Nämä käsittelyvaiheet muodostavat mallinnettavan prosessin.



*Kuva 1 Poistotekstiilin käsittelyvaiheet kierrätetyksi tekstiiliraaka-aineeksi*

Nykyisistä poistotekstiilin käsittelyprosesseista voi yhteenvedona todeta, että suurin osa poistotekstiilistä päättyy tällä hetkellä energiajätteeksi. Uudelleenkäyttöön soveltuvien vaatteiden ja muiden tekstiilituotteiden hyödyntäminen on lisääntynyt 2000-luvulla merkittävästi ja alalla on useita, osittain keskenään kilpailevia toimijoita. Vaikka edelleen hyväkuntoista ja myyntikelpoista vaatetta päättyy jätteeksi, uudelleenkäytölläkin on rajansa, sillä jossain vaiheessa vaate kuluu ja rikkoontuu uudelleenkäyttöön kelpaamattomaksi. Varsinkaan nykyinen pika- tai halpamuoti ei välttämättä kestä pitkäaikaisen käytön kulutusta ja sen edellyttämiä toistuvia pesuja. Uudelleenkäyttöön soveltuvien käytettyjen vaatteiden kysyntä on myös Suomessa ja sen lähialueilla vähäisempää kuin niiden tarjonta. Tällöin joudutaan pohtimaan niitä eettisiä näkökulmia, joita liittyy tällaisten tuotteiden vientiin esimerkiksi Afrikkaan. Täten voidaan olettaa, että tekstiilimateriaalin kierrätys olisi todennäköisesti paras vaihtoehto suurimmalle osalle poistotekstiilistä.



## 2. Mallinnuksen tavoitteet ja rajaukset

---

Mallinnustyön tavoitteena oli rakentaa laskentamalli, jonka avulla voidaan arvioida ja verrata eri prosessivaihtoehtojen kustannusvaikutuksia sekä tuotettavia poistotekstiiliraaka-ainemääriä ja jonka pohjalta voidaan luoda kustannusarvioihin perustuvia ehdotuksia poistotekstiilin kierrättämiselle Suomessa. Mallinnustyö tapahtui osana Telaketju-hankekokonaisuutta, johon osallistuneet yritykset ja muut organisaatiot toimivat merkittävänä tutkimustiedon lähteenä.

Laskentamallia on rajattu niin, että kierrätysmenetelmistä ovat mukana puuvillan kemiallinen kierrätys sekä mekaaninen kierrätys avattuun, karstattuun kuituun saakka. Näiden menetelmien kustannusten arviointiin oli saatavissa tietoa Telaketju-konsortiolta. Ne ovat myös Suomessa käytössä teollisessa mittakaavassa jo nyt (mekaaninen kierrätys) tai lähitulevaisuudessa (puuvillan kemiallinen kierrätys). Laskentamallissa prosessia on yksinkertaistettu ohjaamaan kaikki kerätty poistotekstiilimateriaali joko mekaaniseen tai kemialliseen kierrätysprosessiin, vaikka käytännössä tämä ei kemiallisen kierrätyksen osalta onnistu ainakaan nykyisillä teknologioilla ja mekaanisenkin kierrätyksen osalta se jää lähinnä teoreettiseksi vaihtoehdoksi.

Malli huomioi tekstiilien keräykseen liittyvät kuljetukset. Kuljetukset lajittelusta esikäsittelyyn ja esikäsittelystä kierrätysprosessiin on sen sijaan jätetty pois, sillä näiden toimintojen etäisyyttä lajittelulaitokseen ei tiedetä. Lisäksi on mahdollista, että eri toimijoiden kumppanuuteen perustuva jalostuslaitos toteuttaa tekstiilien lajittelun lisäksi myös niiden esikäsittelyn ja mahdollisesti myös varsinaisen kierrätysprosessin.

Mallinnus on rakennettu osittain prosesseille, jotka eivät ole tällä hetkellä vielä käytössä, eikä sitä voi tässä vaiheessa validoida. Lisäksi mallin antamat kustannusarviot perustuvat moniin oletuksiin ja yleistyksiin. Muun muassa koko lajittelusta saatavan tekstiilimäärän oletetaan menevän joko mekaaniseen tai kemialliseen kierrätykseen, ja käytännössä näin eri vaihtoehdot toimivat rinnakkain ja koko volyymi jakautuisi eri prosesseille. Kun kierrätysekosysteemi aikanaan rakentuu ja se kustannukset voidaan arvioida tarkemmin, mallin laskentaa voidaan tarkentaa.

### 3. Tutkimusmenetelmät

---

Kustannusmallin rakentamisessa hyödynnettiin tutkimuskirjallisuutta sekä aineistoja ja tietoja, joita tuotettiin erilaisin aineiston- ja tiedonhankintamenetelmin, kuten haastattelut, vierailut ja työpaja. Tutkimuksesta vastasi pääasiassa logistiikan erikoistutkija Ville Hinkka, mutta erikoistutkija Pirjo Heikkilä sekä tutkimusprofessori Ali Harlin antoivat asiantuntija-apua etenkin tekstiilimateriaaleihin ja tekstiilin käsittelyteknologioihin liittyen.

Kirjallisuustutkimus käsitti kaikenlaisen taustamateriaalin, kuten tieteelliset artikkelit, tutkimus- ja projektiraportit, muut artikkelit, etsimistä julkisista lähteistä. Tutkimuskirjallisuudesta kartoitettiin tekstiilien kierrätyksessä huomioitavia seikkoja, arvioita poistotekstiilien määrästä Suomessa sekä tietoa poistotekstiilien keruupoliteista eri maissa.

Haastattelujen (11 henkilöä 6 organisaatiosta) avulla kerättiin ensin tietoa jätehuollon ja kierrätettävien materiaalien nykyisistä keräily- ja käsittelyprosesseista. Lisäksi monet haastellut henkilöt olivat olleet mukana erilaisissa poistotekstiilin keräilykokeiluissa. Myöhemmin haastateltavat myös arvioivat tämän raportin kirjoittajien ajatuksia liittyen kehitettyihin prosessimalleihin sekä poistotekstiilin keräilyn ja käsittelyn kustannusarvioihin.

Virossa sijaitsevaan Humanan lajittelukeskukseen tehdyn yritysvierailun tavoitteena oli luoda käsitys niistä tekijöistä, jotka liittyvät poistotekstiilien käsinlajittelun laajamittaiseen organisointiin (esim. lajittelunopeus). Virossa sijaitsevaan Toom Tekstiiliin sekä Ranskassa sijaitsevaan Laroche'n pilot-linjalle tehtyjen vierailujen tarkoituksena oli saada parempaa tietoa prosesseista, joilla kerättyä poistotekstiiliä käsitellään mekaanisesti käyttökelpoisen uusiomateriaalin tuottamiseksi.

Työpaja, joka järjestettiin yhdessä riskienhallinnan tehtävän kanssa. Työpaja oli avoin kaikille Telaketju-hankkeen osallistujille. Siihen osallistui VTT:n tutkijoiden lisäksi 15 edustajaa kymmenestä eri organisaatiosta, jotka ovat kytköksissä poistotekstiilin keräilyyn, käsittelyyn tai hyödyntämiseen. Prosessimallinnuksen osalta työpaja oli jaettu seuraaviin osa-alueisiin: 1) prosessin määrittely, 2) laskentamallin esittely, 3) keräilyn ja kuljetusten kustannusarviot sekä 4) poistotekstiilin lajittelu ja käsittely. Työpajassa tutkimuksen tekijä alusti kunkin aiheen, minkä jälkeen osallistujat keskustelivat aiheesta ensin neljässä ryhmässä ja myöhemmin yhdessä. Keskustelujen tarkoituksena oli arvioida tutkimuksen tekijän työpajaan mennessä kehittelemiä vaihtoehtoja, arvioida eri vaihtoehtojen ja niihin sisältyvien lukuarvojen realistisuutta sekä tarjota ideoita työn viemiseksi eteenpäin. Tutkimuksen tietolähteet eli haastattelut, vierailut ja työpajan osallistujat on listattu liitteessä 1.

Laskentamallin tarkoituksena oli arvioida ja osoittaa eri prosessivaihtoehtojen kustannusvaikutukset sekä arvioida tekstiilimateriaalien kierrättämiskustannusten suuruusluokkaa. Laskentamalli pohjautuu kuvassa 1 (sivulla 6) kuvattuun poistotekstiilin keräys-, lajittelu-, esikäsittely- ja kierrätysprosessiin. Laskentamalli arvioi prosessin kuhunkin vaiheeseen vaikuttavat tekijät sekä niiden aiheuttamat kustannukset. Lisäksi se laskee yhteen kaikkien vaiheiden kustannukset, jolloin saadaan arvio koko prosessin kustannuksista.

Laskentamalli on MS Excel pohjainen. Malliin on syötetty valmiiksi aineistonkeruussa saatuja lukuarvoja eri prosessivaiheista ja tarkoitus on, että mallia voidaan jälkikäteen tarkentaa ja täydentää, kun saatavilla on parempaa tietoa mallinnetuista asioista tai halutaan kokeilla oletusprosessista poikkeavia vaihtoehtoja. Vaikka malli koostuu lukuisista yksityiskohdista ja niihin liittyvistä lukuarvoista, se pyrkii vertailemaan poistotekstiilien vaihtoehtoisten käsittely- ja kierrätysprosessien kustannuksia sekä luomaan kokonaisarviota tekstiilikierrätyksen kustannuksista.

Mallinnuksen alustavia tuloksia on raportoitu konferenssiesityksenä (Hinkka ym., 2018). Siinä tarkasteltiin poistotekstiilin kierrätyslogistiikkaa teoreettisella tasolla. Tämä raportti esittelee mallinnustyötä ja sen tuloksia käytännön tasolla Telaketjun ensimmäisen rahoitusvaiheen lopussa. Raportissa esitellään taustatietoa tekstiilien kierrätykseen liittyen (luku 4), minkä jälkeen esitellään mallinnetut prosessit (luku 5) sekä itse laskentamalli tuloksineen (luvut 6 ja 7). Lopuksi yhteenveto ja johtopäätökset (luku 8).

## 4. Taustatietoa liittyen tekstiilien kierrätykseen

### 4.1 Arvioita poistotekstiilin määrästä Suomessa

Viimeisin arvio Suomessa vuosittain kertyvästä poistotekstiilin määrästä on vuodelta 2012 (Dahlbo ym., 2015), ja sen mukaan poistotekstiiliä kertyy vuodessa noin 71 miljoonaa kiloa. Noin 77 % (54,7 miljoonaa kiloa) tästä määrästä päätyi kunnalliseen jätehuoltoon ja lopun 23 % hyväntekeväisyysjärjestöt keräsivät uudelleenkäyttöön toimittamista varten.) Lisäksi noin 20 % hyväntekeväisyysjärjestöille päätyneistä tekstiileistä ei voitu enää toimittaa uudelleenkäyttöön vaan ne päätyivät kunnalliseen jätehuoltoon. Täten jätteeksi päätyi noin 58,5 miljoonaa kiloa poistotekstiiliä. (Dahlbo ym., 2015).

Poistotekstiilin määrästä voi tehdä päivitettyjä arvioita tarkastelemalla tekstiili- ja muotikaupan kehitystä Suomessa. Dahlbo ym. (2015) arvioivat, että vuosittainen poistotekstiilin määrä on suunnilleen samaa suuruusluokkaa kuin uusien tekstiilien vuosittainen hankintamäärä. Vaikka vaatekauppa ja todennäköisesti myös poistotekstiilin määrä kasvavat maailmanlaajuisesti, vuoden 2012 arvio poistotekstiilin kokonaismäärästä Suomessa voi vielä pitää varsin hyvin paikkansa.

Tekstiili- ja muotialat ry TMA:n vuonna 2017 antamien arvioiden perusteella muotikaupan liikevaihto supistui vuosien 2012 ja 2017 välillä lähes 10 % (Tammilehto, 2017). Muotikaupan liikevaihdon lasku ei ole suoraan verrannollinen myytyjen tuotteiden määrään, sillä vähenevän myynnin ja ulkomaisen verkkokaupan lisääntymisen aiheuttama kilpailu ovat mahdollisesti laskeneet samalla tuotteiden myyntihintoja. Vaikka on mahdollista, että poistotekstiilin määrä Suomessa on suurempi kuin 71 miljoonaa kiloa, mallinnuksessa on käytetty tätä arviota, koska se on ainoa tutkimukseen perustuva arvio tällä hetkellä.

### 4.2 Kotitalousjätteen kerääminen Suomessa

Kunnat vastaavat Suomessa kotitalouksien jätehuollosta. Lisäksi kuntien kuuluu huolehtia kunnan oman hallinto- ja palvelutoiminnan sekä muun muassa liikehuoneistojen yhdyskuntajätteistä. Kunnat ovat perustaneet jätehuoltoaan varten yhteisiä alueellisia jätelaitoksia, jotka ovat osakeyhtiö-, kuntayhtymä- tai liikelaitosmuotoisia. Kuntien jätelaitokset tekevät myös kiinteää yhteistyötä yksityisten yritysten kanssa. Jätelaitokset ostavat tarvitsemansa palvelut, esimerkiksi kuljetuspalvelut, yksityisiltä yrityksiltä kilpailuttamalla. Jätelaitosten liikevaihdosta keskimäärin 60 % muodostuu kilpailutetuista hankinnoista. Suomessa Kiertovoimayhdistys ry (Kivo) toimii kunnallisten jätelaitosten kattojärjestönä. Yhdistyksellä on jäseninä 33 kunnallista jätelaitosta, joiden toiminta-alue kattaa yhteensä yli 95 % Manner-Suomen asukkaista. (Kiertovoimayhdistys, 2018)

Joidenkin tuoteryhmien keräyksen ja kierrätyksen järjestäminen perustuu tuottajavastuuseen. Tällöin käytöstä poistetun tuotteen valmistaja tai maahantuoja vastaa sen keräyksestä, kierrätyksestä ja hyödyntämiseen ohjaamisesta. Tuottajavastuun tavoitteena on tehostaa materiaalien kierrätystä ja ohjata tuotesuunnittelua siten, että jätettä muodostuu mahdollisimman vähän. Tällä hetkellä tuottajavastuu koskee paperin, pakkausten, sähkö- ja elektroniikkalaiteromun, paristojen, akkujen sekä autonrenkaiden ja romuautojen jätehuoltoja. Näin ollen tuottajayhteisöillä on keskeinen rooli tiettyjen yhdyskuntajätteiden kierrätyksen järjestämisessä. Kuntien jätelaitokset ja tuottajayhteisöt ovat rakentaneet hyöty- ja vaarallisten jätteiden vastaanottoa varten maanlaajuisen ekopisteiden ja jäteasemien verkoston. Lisäksi erilaisia jätteitä kerätään keräystempauksissa. (Kiertovoimayhdistys, 2018).

Poistotekstiilin erilliskeräystä on Suomessa vielä varsin vähän. Joillakin jätelaitoksilla on ollut poistotekstiilin keräykseen liittyviä pilotteja. Lisäksi muutamat kauppaketjut ottavat myymälöissään vastaan käytettyjä vaatteita ja toimittavat ne Keski-Eurooppaan. Siellä uudelleenkäytettävät vaatteet erotellaan, mutta muu tekstiilimateriaali ei välttämättä päädy kierrätykseen. Tekstiilialan toimijat Suomessa ovat kuitenkin vahvasti sitä mieltä, että tuottajavastuun laajentaminen tekstiileihin olisi ongelmallista, koska vastuun ulottaminen esimerkiksi verkkokaupassa tilattuihin tuotteisiin on vaikeaa.

Tällöin suomalaisten toimijoiden kilpailutilanne olisi entistä haastavampi. Joka tapauksessa tekstiilijätteiden erilliskeräys on järjestettävä Suomessa vuoteen 2025 mennessä EU:n kiristyneiden jätedirektiivien mukaisesti (Euroopan Komissio, 2018).

## 5. Mallinnettavat prosessit

---

Tässä luvussa kuvataan tarkemmin kuvassa 1 (sivulla 6) esitetty prosessi, joka toimi lähtökohtana mallin prosessitarkastelulle.

### 5.1 Keräys

UFF:llä on Suomen laajin käytettyjen tekstiilien keräysjärjestelmä. Se keräsi 14,6 miljoonaa kiloa tekstiiliä (2,7 kg/henkilö) vuonna 2017 (UFF, 2018). Yhdistyksellä on vaatekeräyslaatikoita ympäri Suomea, joihin kuluttajat voivat jättää puhtaita ja ehjiä vaatteita. UFF:n omat ja alihankkijoiden keräilyautot tyhjentävät laatikot vähintään kerran viikossa ja tekstiilit toimitetaan lajiteltaviksi UFF:n Klaukkalan lajittelukeskukseen tai Humanan lajittelukeskukseen Viroon. Käyttökelpoiset vaatteet toimitetaan myytäväksi UFF:n tai Humanan myymälöihin Suomeen, Baltiaan tai Itä-Eurooppaan tai ne toimitetaan kehitysmaihin. Käyttökelvottomat tekstiilit päätyvät toistaiseksi energiajätteeksi. Samalla tavalla, mutta huomattavasti pienemmässä mittakaavassa, toimii myös muita hyväntekeväisyysjärjestöjä, kuten Fida, joka keräsi 1,5 miljoonaa kiloa vaatetta vuonna 2017 (Fida, 2018), sekä Pelastusarmeija ja Suomen Punainen Risti.

Myös jätehuollon asiantuntijat pitivät tärkeänä sitä, että käyttökelpoiset tekstiilit saadaan eroteltua muusta poistotekstiilistä. Hyväntekeväisyysjärjestöt eivät kuitenkaan kannata sitä, että muu poistotekstiilin keräys yhdistettäisiin heidän keräykseensä. Tällöin riskinä olisi käyttökelpoisten vaatteiden kontaminoituminen esimerkiksi likaisen materiaalin vaikutuksesta. Lounais-Suomen Jätehuolto Oy (LSJH) pilotoi yhdessä UFF:n kanssa kahden laatikon mallia, jossa UFF:n keräyslaatikko käyttökelpoiselle tekstiilille ja LSJH:n keräyslaatikko muulle poistotekstiilille olivat vierekkäin. Pilotin yhtenä tarkoituksena oli selvittää sitä, osaavatko kuluttajat lajitella tekstiilit kahteen eri jakeeseen ja oliko kahdella laatikolla vaikutusta esimerkiksi UFF:n laatikon keräysmääriin ja lahjoitettujen tekstiilien laatuun. Vaikka kuluttajien lajitteluosaamisessa on vielä toivomisen varaa, on hyväntekeväisyysorganisaatioiden vaatekeräyksellä joka tapauksessa jatkossakin hyvin tärkeä rooli poistotekstiilien keräyksessä.

Kunnallisten jätehuoltolaitosten toteuttama poistotekstiilien erilliskeräys tulee tutkimuksessa haastateltujen asiantuntijoiden mukaan toteuttaa alkuvaiheessa niin, että nykyisiin kierrätyspisteisiin lisätään uusi keräyslaatikko poistotekstiileille. Suurilla paikkakunnilla kierrätyspisteet sijaitsevat kauppojen tai kauppakeskusten vieressä ja pienemmillä kuntakeskuksessa tai muulla keskeisellä paikalla. Ihmiset voisivat siten tuoda poistotekstiilinsä keräyspisteisiin esimerkiksi kauppaan mennessään.

Keräysastioita ei kannata erikseen valvoa, joten niihin voi päätyä myös asiaankuulumatonta materiaalia. Vaikka astioiden kyljessä on ohjeet niihin kerättävistä tuotteista, keräystä harjoittavien hyväntekeväisyysorganisaatioiden mukaan niitä ei useinkaan lueta. Lisäksi ihmisillä on erilainen käsitys siitä, mikä on käyttökelpoista tekstiiliä. Myös suoranaista ilkivaltaa tapahtuu, kun astioihin laitetaan esimerkiksi tekstiilien keräykseen kuulumatonta materiaalia, joka voi pilata tekstiilin esimerkiksi muun jäteastian puuttumisen vuoksi. Toisinaan ihmiset myös tunkeutuvat astioihin etsimään sopivia vaatteita tai jopa viettämään siellä yönsä, jolloin astioihin pääsee likaa ja kosteutta. Erityisesti syrjäisillä paikoilla olevat keräysastiat kärsivät näistä ongelmista. Lisäksi valvontakaan tuskin poistaa kaikkia ongelmia. Esimerkiksi LSJH:n keräysasemille tuodusta poistotekstiilistä voi löytyä haitallisia aineita, vaikka yrityksen työntekijät vastaanottavat tekstiilierät.

Poistotekstiilien keräys voitaisiin toteuttaa myös vaatekaupoissa ja myymälöissä. Tällä hetkellä esimerkiksi H&M, KappAhl ja Lindex ottavat vastaan kodin tekstiilejä ja vaatteita kunnosta riippumatta. Myös hyväkuntoisia vaatteita voi lahjoittaa suoraan hyväntekeväisyysjärjestöjen myymälöihin. Myymälöissä tapahtuva keräys vähentäisi luultavasti asiaankuulumattoman aineksen määrää poistotekstiilissä. Myös poistotekstiilin kuljetus saattaisi onnistua myymälän tavarankuljetusten avulla kustannustehokkaasti. Toisaalta poistotekstiilien runsas kertyminen ja käsittely voivat tuoda lisäkustannuksia etenkin pienille myymälöille.

## 5.2 Keräyskeskukset

Kerätyt poistotekstiilit kannattaa välivarastoida kohtuullisen etäisyyden päässä keräyspaikoista. Tässä raportissa näitä välivarastointipaikkoja kutsutaan keräyskeskuksiksi. Keräyskeskuksissa tekstiilit joko lajitellaan tai pakataan kuljetettavaksi eteenpäin.

Mikäli kunnallinen jätehuoltolaitos huolehtii tekstiiliastioiden tyhjennyksestä alueellaan, on luontevaa, että keräysautot toimittavat tekstiilit laitoksen tiloihin. Mikäli tekstiilinkeräys on yksityisen yrityksen vastuulla, sillä voi olla oma alueellinen keräyskeskuksensa. Poistotekstiilin erilliskeräys voidaan myös hoitaa useamman jätelaitoksen yhteistyönä, jolloin jokaisen jätelaitoksen alueella ei välttämättä ole omaa keräyskeskusta.

## 5.3 Lajittelu

Tekstiilien lajittelun tavoitteena on erotella tekstiilituotteet omiin ryhmiinsä niiden kuituraaka-aineen tai -aineiden mukaan. Koska merkittävä osa lajiteltavista vaatteista sisältää vähintään kahta kuituraaka-ainetta, erilaisille kuitusekoituksille muodostuu omia ryhmiä. Siten tekstiilit voidaan lajitella esimerkiksi 10-20 eri ryhmään sen mukaan, kuinka tarkasti erilaiset kuitusekoitukset halutaan erotella.

Sille, missä ja miten poistotekstiilien lajittelu järjestetään Suomessa, on tarjolla eri vaihtoehtoja. Lajittelu voidaan järjestää alueellisesti keräyskeskuksissa tai keskitetysti joko yhdessä tai korkeintaan 2-3 paikassa. Tekstiilien lajittelutapaan liittyvä kysymys on haluttu automaatioaste. Tällä hetkellä monet hyväntekeväisyysorganisaatiot, kuten Humanan lajittelukeskus Virossa, lajittelevat kerätyt tekstiilit käsin. Käsinlajittelun tehostamiseksi UFF:n lajittelukeskuksessa Klaukkalassa käytetään vaatteita kuljettavia liukuhihnoja. Lisäksi Telaketju-hankkeessa on testattu käsikäyttöisiä laitteita, joita käytetään eri tekstiilimateriaalien tunnistamiseen (Kamppuri ym., 2019). Tällaista käsinlajitteluun perustuvaa, mutta automaatiota hyödyntävää lajittelua kutsutaan tässä raportissa automaatioavusteiseksi lajitteluksi. Lisäksi esimerkiksi Valvan Baling Systems on kehittänyt automaattisen lajittelulinjan, joka kykenee erottelamaan eri tekstiilimateriaaleja NIR (near infra red) -teknologian avulla (Valvan Baling Systems, 2018; Zitting, 2018).

Lajittelupaikkojen lukumäärä ja lajittelun automaatioaste korreloivat siten, että mitä korkeampi automaatioaste, sitä suurempia investointeja ja tekstiilimääriä tarvitaan. Näin ollen alueellisessa lajittelussa automaatioaste jää väistämättä alhaiseksi. Sen sijaan keskitetyssä lajittelussa korkeaan automaatioasteeseen pyrkiminen on perusteltua, sillä suuret tekstiilimäärät edellyttävät lajittelukeskuksen prosessin tarkkaa pohdintaa. Täten automaation tehokas hyödyntäminen on keskeinen asia, kun suunnitellaan uuden lajittelulaitoksen prosessien sujuvuutta.

Keskitetyn lajittelun suuri ongelma on se, että haitallinen materiaali, kuten märkä, öljyinen tai homeinen vaate, voi pilata suuren määrän hyvää poistotekstiiliä. Haitallinen aines on pahimmillaan pakattu tiiviisti osaksi suurempaa erää ja pidemmän käsittelyajan vuoksi esimerkiksi homeet ehtivät pilaamaan koko erän, mikä tämä huomataan vasta lajitteluvaiheessa. Alueellisessa lajittelussa haitallinen materiaali olisi eroteltu jo varhaisessa vaiheessa ja pilaantuneen tekstiilin määrä olisi rajallinen. Lisäksi keskitetyssä lajittelussa tekstiilien kuljetukset ja käsittelyt ennen lajittelua voivat vahingoittaa tekstiilejä.

Lajittelun haasteena on tunnistaa eri tekstiilimateriaalit ja lajitella ne oikein. Telaketjun-hankkeen käsilajittelun piloteissa lajittelua on tehty käsin tekstiilien pesulappujen perusteella. Tapa on hidas, tuottaa paljon hukkaa ja epäluotettava, koska monista poistotekstiileistä puuttuu pesulappu tai se on lukukelvoton. Pesulappujen tietoihin ei myöskään voi aina luottaa, sillä pieniä määriä sekoitekuitua ei ole välttämätöntä ilmoittaa lapussa, ja lisäksi telaketjun tunnistuskokeissa on havaittu (Heikkilä ym., 2019), että joissain tapauksissa lapun tiedot poikkeavat täysin tutkimusta koostumuksesta.

Lajittelun tarkkuus on ongelma myös koneellisessa lajittelussa. Tekstiilien NIR-tunnistus on pintatutkimusmenetelmä, joka ei pysty havaitsemaan monikerroksisen tekstiilituotteen eri raaka-ainekerroksia. Erilaisia kuituraaka-aineita saattaa olla myös käytössä tekstiilituotteen eri osissa, jolloin vain tunnistimen alle osunut kohta määrittää tunnistustuloksen. Lisäksi poistotekstiilit voivat sisältää



harvinaisia tekstiilimateriaaleja tai monia erilaisia materiaalisekoituksia. Nämä tunnistamattomat tekstiilit muodostavat luokan *muu hyödyntämiskelpoinen tekstiilimateriaali* (katso mallin luokitus sivulta 24), johon voi kertyä merkittävä osuus lajitelluista tekstiileistä. Lajitteluun voi myös päätyä kierrätyskelpottomia tekstiilejä tai muita materiaaleja, jotka täytyy pystyä tunnistamaan ja erottamaan sekajätteeksi.

Tutkimuksessa haastateltuja asiantuntijoita kiinnosti myös se, kuinka paljon poistotekstiilin keräysastioihin päätyy uudelleenkäyttöön kelpaavaa tekstiiliä sekä se, voitaisiinko tämä tekstiilimateriaali erotella jätehierarkian tavoitteiden toteuttamiseksi. Alueellisessa manuaalisessa tai automaattivusteisessa lajittelussa uudelleenkäytettävät tekstiilit on mahdollista erotella varsin helposti. Sen sijaan koneellinen lajittelu ei pysty tähän.

Mikäli poistotekstiilit lajiteltaisiin keskitetysti, esimerkiksi hyväntekeväisyysjärjestön edustajat voisivat esilajitella keräyskeskuksiin toimitetut poistotekstiilierät ja erotella uudelleenkäytettävät tekstiilit muusta poistotekstiilistä. Samalla olisi todennäköisesti mahdollista myös poistaa asiaankuulumaton tai haitallinen materiaali, kuten homeiset vaatteet, mikä ehkäisisi poistotekstiilierien pilaantumisen. Mikäli uudelleenkäytettäviä tekstiilejä löytyisi riittävästi, niiden arvo voisi kattaa esilajittelun kustannukset. Lisäksi haitallisen materiaalin poistamisesta voitaisiin maksaa erillinen korvaus. Mikäli keskitetty lajittelu valitaan ja lajittelukeskuksia tulee vain yksi, sen tulisi sijaita Etelä-Suomessa. Tällöin kerättyjen poistotekstiilierien kuljetusmatkat ovat kokonaisuudessaan lyhyempiä. Lisäksi merkittävä osa poistotekstiilimateriaalia käsittelevistä yrityksistä sijaitsee todennäköisesti lähellä lajittelua.

## 5.4 Kuljetukset

Poistotekstiilejä pitää kuljettaa eri prosessointivaiheiden välillä silloin, kun prosessointeja ei toteuteta samalla alueella. Periaatteessa kuljetuksia tarvitaan seuraavissa prosessin vaiheissa:

- Keräyskeskukset – lajittelu
- Lajittelu – käsittely
- Käsittely – kierrätysmateriaalin hyödyntäjä

Poistotekstiilimateriaalin kuljetukset ennen alueellisia keräyskeskuksia katsotaan liittyvän osaksi keräystä.

Alueellisessa lajittelussa lajittelu tapahtuu keräyskeskuksissa, jolloin lajittelematonta poistotekstiiliä ei tarvitse kuljettaa. Keskitettyyn lajitteluun liittyy sen sijaan kuljetustarve. Poistotekstiilien kuljetuksessa tilantarve on merkittävin kuljetuksen hintaan vaikuttava tekijä. Siten poistotekstiilit kannattaa ennen kuljetusta tiivistää joko säkkeihin tai paaleihin, jotta ne vievät mahdollisimman vähän tilaa etenkin pidemmällä kuljetusmatkoilla. Tekstiilimateriaali on tehokkainta kuljettaa täysperävaunullisessa rekassa. Mikäli lajittelu tapahtuu Etelä-Suomessa, kuljetuskustannuksia on mahdollista alentaa hyödyntämällä paluumatkoja tekeviä tyhjiä rekkoja. Erityisesti kaupan alalla on paljon kuljetuksia Etelä-Suomen satamista ja logistiikkakeskuksista muualle Suomeen.

Seuraava kuljetustarve on matka lajittelusta esikäsittelyyn. Jos lajittelu on keskitettyä, käsittelylaitoksia kannattaa sijoittaa lähelle lajittelua kuljetusmatkojen lyhentämiseksi. Jos lajittelu on alueellista, yksittäisten käsittelylaitosten pitää todennäköisesti hankkia materiaaleja useista alueellisista lajittelukeskuksista, mikä aiheuttaa kuljetustarpeita. Yleisesti ottaen alueellisessa lajittelussa kuljetustarve kokonaisvolyymin suhteen on pienempää. Toisaalta, jos useiden eri jakeiden esikäsittelyä tapahtuu suunnilleen samassa paikassa, se aiheuttaa ylimääräistä työtä kuljetuksille, kun samassa rekassa kulkee suunnilleen saman matkan jakeita, joita ei saa sekoittaa keskenään. Kuljetusten järjestäminen tuskin on kuitenkaan oleellinen perustelu alueellisen tai keskitetyn lajittelun valinnassa.

Esikäsitelty käyttövalmis kierrätystekstiilimateriaali pitää vielä kuljettaa kierrätysprosessiin, mikäli se ei tapahdu samassa toimintayksikössä esikäsittelyn kanssa, sekä kierrätysprosessista kierrätyskuidun hyödyntäjälle. Nämä kuljetukset on jätetty tämän mallin ulkopuolelle.



## 5.5 Tekstiilien käsittely

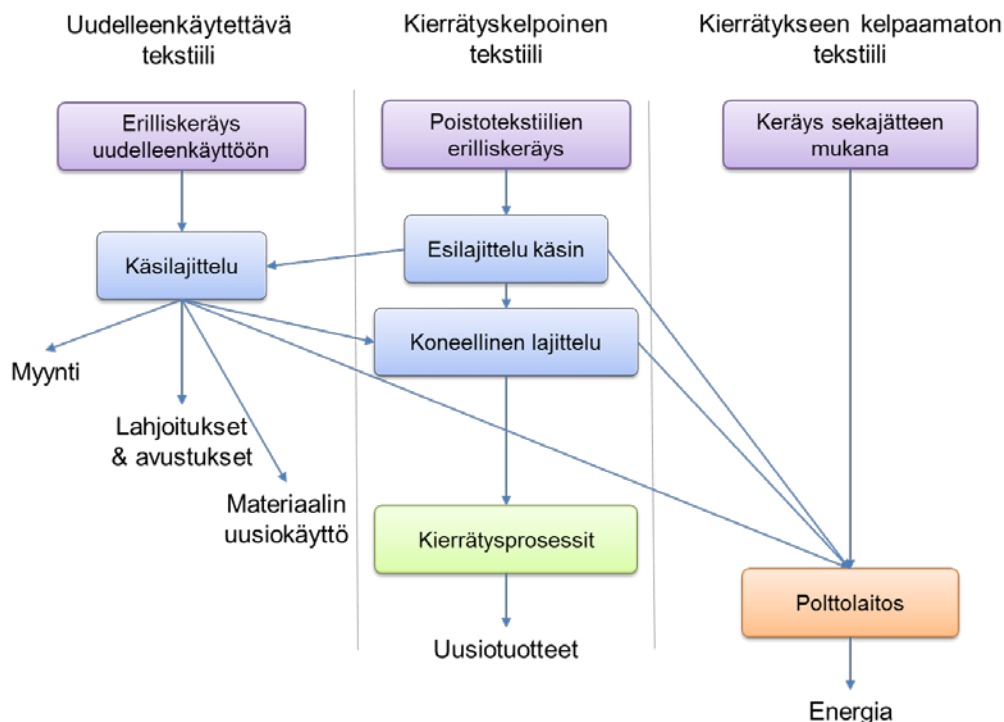
Tekstiilien kierrätys voidaan jakaa mekaaniseen, kemialliseen ja termiseen kierrätykseen. Näistä kierrätystavoista mallinnukseen on otettu mukaan mekaaninen kierrätys avaukseen ja karstaukseen saakka sekä puuvillan kemiallinen kierrätys. Kaikessa kierrätyksessä tarvitaan myös tekstiilien esikäsittelyä, kuten nappien, vetoketjujen ja muiden kovien osien poisto. Erityisesti mekaanisessa kierrätyksessä muita mahdollisia esikäsittelyjä ovat hygieenisyyteen liittyvät prosessit kuten pesu, höyrytys, otsonointi ja valkaisu. Kemiallisessa käsittelyssä ei tällaisia lisäkäsittelyjä välttämättä tarvita, koska itse menetelmään voidaan sisällyttää esimerkiksi valkaisu ja kemialliset prosessivaiheet desinfioivat materiaalin.

Mekaanisessa kierrätyksessä poistotekstiilit käsitellään mekaanisesti esimerkiksi repimällä ja avataan kuiduksi. Kuidut karstataan ja käytetään joko langan tai kuitukankaan valmistukseen. Mekaanisen käsittelyn onnistumiseksi tekstiiliraaka-aineen pitää olla puhdasta ja koostua yhdestä materiaalista.

Kemiallinen käsittely vaihtelee materiaalin mukaan. Selluloosapohjaiset materiaalit, kuten puuvilla, voidaan liuottaa ja liuoksesta voidaan valmistaa uudelleen tekstiilikäyttöön sopivia kuituja. Liuotukseen perustuvan kemiallisen kierrätyksen etuna on se, että sitä voidaan käyttää jossakin määrin myös likaisille tekstiileille. Myös kuituseosten käyttö on periaatteessa mahdollista, sillä prosessissa voidaan erottaa tarpeeton kuitukomponentti ja poistaa se joko kemiallisesti hajottamalla tai mekaanisesti suodattamalla. Tällaisten vaiheiden lisääminen lisää kuitenkin kemiallisen kierrätyksen kustannuksia.

## 5.6 Yhteenveto esitetyistä prosesseista

Poistotekstiilin prosesseja tarkasteltaessa tuli selkeästi ilmi, että poistotekstiilit tulisi jakaa kolmeen ryhmään: 1) uudelleenkäytettävät tekstiilit eli ilman käsittelyä sellaisenaan uudelleenkäyttöön kelpaavat tekstiilituotteet, 2) kierrätykseen soveltuvat tekstiilit eli prosessoinnin avulla uusien tuotteiden raaka-aineeksi kelpaavat tekstiilit, sekä 3) kierrätyskelvottomat tekstiilit eli energiajäte. Kuvassa 2 esitellään jako eri poistotekstiilityyppeihin ja niiden prosessoinnin vaiheet. Ihanteellista olisi, että kuluttajat ja muut poistotekstiilin tuottajat osaisivat ja haluaisivat toimittaa poistotekstiilinsä oikeaan käsittelyprosessiin.



Kuva 2 Yhteenveto eri poistotekstiilityypeille esitetyistä käsittelyprosesseista

Tällä hetkellä sekajätteen ja uudelleenkäytettävän tekstiilin prosessit sujuvat varsin hyvin. Näiden väliin pitäisi tulevaisuudessa kuitenkin tulla erillinen kierrätystekstiilin prosessi, joka ajan myötä toivottavasti kasvaa suurimmaksi. Tässä on haasteensa. Sen vuoksi kuvassa 2 kulkeekin nuolia prosessien välillä, koska on oletettavaa, että etenkin kuluttajan on vaikeaa tietää, kuinka hyvin hänelle itselle tarpeettomat tekstiilit kelpaavat uudelleenkäytettäväksi sellaisenaan tai materiaalina. Ongelmana on, että kerran sekajätteeseen joutuneita kierrätyskelpoisia materiaaleja ei haastateltujen asiantuntijoiden mukaan kannata enää yrittää erotella, jolloin ne kasvattavat sekajätteen määrää. Toisaalta kierrätyskelvottoman tekstiilimateriaalin erottelu kierrätysprosessista nostaa kierrätyksen hintaa ja pahimmillaan myös pilaa kierrätykseen soveltuvaa materiaalia kontaminaation takia.

## 6. Laskentamalli poistotekstiilimateriaalin kustannusten arviointiin

Telaketju-hankkeessa kehitetty laskentamalli on taulukkolaskentamalli. Sen ensisijaisena tavoitteena on arvioida sitä, kuinka paljon poistotekstiiliä voitaisiin kierrättää mekaanisesti ja kemiallisesti Suomessa ja mitkä olisivat sen kustannukset erilaisilla prosessivaihtoehtoilla. Mallin rakennetta on kuvattu tarkemmin liitteessä 2.

### 6.1 Keräyksen mallintaminen

Kunnallisilla jätehuoltolaitoksilla sekä alueellisesti toimivilla jätteenkeräystä harjoittavilla yhtiöillä on omat tapansa arvioida jätteenkuljetuksen kustannuksia toimialueellaan. Lisäksi valtakunnallisilla kaupallisilla jäteyhtiöillä, jotka kilpailevat jättesopimuksista eri puolella Suomea, on hyvät kartta- ja laskentatyökalut keräysaikojen ja -matkojen sekä niiden kustannusten arviointiin. Jos jollekin alueelle päätetään sijoittaa poistotekstiilien keräysastioita, joille on määriteltä tietty tyhjennysväli, jätteenalan organisaatiot pystyvät siten arvioimaan keruusta aiheutuvat kustannukset varsin tarkasti. Koska tällaiset arviointimenetelmät ja kustannustiedot ovat liikesalaisuuksia, ne eivät olleet käytettävissä tässä tutkimuksessa.

Poistotekstiilin keräyskustannuksia arvioitiin Lounais-Suomen Jätehuolto Oy:n (LSJH) alueella Varsinais-Suomessa yhteistyössä LSJH:n ja UFF:n kanssa. LSJH määritteli alueelleen 42 keräilypaikkaa ja niihin 100 keräysastiaa, joista voitaisiin alkuvaiheessa erilliskerätä poistotekstiiliä. Keräyspaikat sijaitsevat kohteissa, joissa on tällä hetkellä myös muuta LSJH:n erilliskeräystä. Syväkeräysastioiden arvioitiin olevan tehokkaimpia poistotekstiilin keräysastioita niiden tyhjennyksen ja keräyspaikan tilankäytön kannalta. Syväkeräysastiaan mahtuu 5 m<sup>3</sup> poistotekstiiliä. Mallinnuksessa käytetyt, LSJH:n määrittelemät poistotekstiiliin erilliskeräyspaikat on listattu taulukkoon 1.

*Taulukko 1 Poistotekstiilin erilliskeräyspisteet mallinnuksessa*

Kunta	Pisteiden lkm	Keräyspisteiden sijainti
Turku	7	Keskusta, Skanssi, Kupittaa CM, Tampereentien Prisma, Jäkärlän K-kauppa, Itäharjun Prisma, Ylimaarian K-kauppa
Salo	8	Halikon prisma, Perniön S-market, Kiskon keskusta, Kuusjoen keskusta, Kiikalan keskusta, Suomensjärven keskusta, Särkisalon keskusta, Mathildedalin keskusta
Lieto	2	Tarvasjoen keskusta, Liedon keskustan S-market
Rusko	2	Ruskon keskusta, Vahdon keskusta
Marttila	1	Marttilan keskusta
Kemiön saari	3	Kasnäs, Taalintehdas, Kemiön keskusta
Raisio	2	Mylly, Raision keskusta
Kaarina	2	Piikkiön keskusta, Kaarinan keskustan K-kauppa
Mynämäki	2	Vihulantie, Mietoinen
Nousiainen	1	Nousiaisten tori
Masku	1	Kauppakeskus
Naantali	5	Naantalin keskusta, Asikainen, Merimasku, Velkua, Röölä
Pöytyä	2	Kyrön keskusta, Riihikosken keskusta
Aura	1	Auran keskusta
Sauvo	1	Sauvon keskusta
Paimio	1	Paimion keskusta
Parainen	1	Nauvon keskusta

Keräyspaikkatietojen perusteella VTT:n tutkijat tekivät seuraavat selvitykset ja arviot keräyskustannuksista ja niihin vaikuttavista tekijöistä:

- 1) Kunkin LSJH:n alueella sijaitsevan kunnan asukasluku selvitettiin.
- 2) Oletettiin, että kukin kunnan asukas toimittaa johonkin kuntansa jätepiisteeseen 4 kg poistotekstiiliä vuodessa. Poistotekstiilin tiheydeksi arvioitiin 100 kg/m<sup>3</sup>.
- 3) Laskettiin, kuinka paljon kuhunkin keräyspiisteeseen kertyy poistotekstiiliä vuodessa. Lähtökohtana oli, että jos kunnassa on useita keräyspiisteitä, poistotekstiili jakaantuu niihin tasaisesti. Turun ja Salon kaupunkien kohdalla tehtiin kuitenkin painotuksia niin, että keskusta-alueen keräyspiisteille tulee suhteellisesti enemmän poistotekstiiliä kuin harvemmin asuttujen alueiden piisteille.
- 4) Oletettiin, että jätettä tyhjennetään viikoittain, ja laskettiin viikossa keskimäärin kerääntyvä poistotekstiilin määrä. Vaikka yhteen keräysastiaan mahtuu 5 m<sup>3</sup> poistotekstiiliä, tarvittavien keräysastioiden lukumäärä laskettiin sen perusteella, että astiat eivät ehdi täyttyä viikossa. Siten astioiden lukumäärä arvioitiin jakamalla yhdelle keräyspaikalle viikossa keskimäärin kerääntyvä poistotekstiilin määrä neljällä eikä viidellä (poistotekstiilin maksimimäärä astiassa). Tämä oletus tehtiin, koska liian täysinäiset keräysastiat jäävät helposti auki ja keräävät kosteutta, mikä pilaa koko astian sisällön. Tarvittavien keräysastioiden arvioitu lukumäärä oli siten korkeampi kuin tilanteessa, jossa astioiden annettaisiin täyttyä kokonaan.
- 5) Haastateltujen asiantuntijoiden perusteella arvioitiin, että yhteen keräysautoon mahtuu 30 m<sup>3</sup> poistotekstiiliä. Tämän arvion perusteella laskettiin, kuinka monta autokuormallista poistotekstiiliä kertyy viikossa.
- 6) Keräyspaikat sijoitettiin kartalle ja niiden välille piirrettiin silmämääräisesti järkevänoloinen ja mahdollisimman lyhyt kulkureitti. Reitin alku- ja päätepiste oli LSJH:n päätoimipiste (tai lähistöllä sijaitseva Topinojan jätekeskus) alueelliseksi keräyskeskukseksi soveltuvan paikan vuoksi.
- 7) Taulukkolaskentaan merkittiin keräysreitti sekä matka-aika autolla keräyspiisteestä toiseen ruuhka-aikojen ulkopuolella, mitkä tiedot saatiin Google Mapsin avulla. Laskennan avulla saatiin myös ajoreitti ja matka-aika kustakin keräyspiisteestä suoraan reitin lähtöpiisteeseen (LSJH:n päätoimipiste).
- 8) Laskettiin painotettu keskimääräinen matka-aika ja matkan pituus keräyspiisteeltä lähtöpiisteeseen.
- 9) Laskettiin keräysmatka laskemalla yhteen Google Maps:n antamat keräyspiisteiden väliset matkat sekä lisäämällä tähän  $2 * (\text{painotettu keskimääräinen matka keräyspiisteelle}) * [(\text{autokuormien lukumäärä viikossa}) - 1]$ .

Idea laskennassa on seuraava: Oletetaan, että koko reitin pituus on  $s_t$  ja keskimääräinen painotettu etäisyys keräyspiisteeltä lähtöpaikkaan on  $d_k$ . Pois lukien ensimmäinen matka reitin ensimmäiselle keräyspiisteelle ja viimeinen matka reitin viimeiseltä keräyspiisteeltä, niin muilla keräysmatkoilla keräysauto joutuu aloittamaan kierroksensa jostakin kohtaa keskeltä reittiä ja vastaavasti poistumaan kierrokselta, kun auto on täynnä. LSJH:n esimerkistä tehdyn laskelman mukaan heidän alueeltaan kerätään viikossa 320 m<sup>3</sup> poistotekstiiliä, mutta auton tilavuus on vain 30 m<sup>3</sup>. Näin ollen keräysmatkoja tulee 11 kpl. Tällöin voidaan arvioida, että yhdeksällä näistä matkoista auto ajaa ensin keräyspaikalle ( $d_k$ ), kulkee reittiä  $s_t / 11$  mittaisen matkan ja ajaa lopuksi lähtöpaikkaan matkan ( $d_k$ ). Lisäksi yhdellä matkalla auto ajaa ensin reittiä  $s_t / 11$  mittaisen matkan mikä sisältää matkan ensimmäiselle keräyspiisteelle ja ajaa lopuksi lähtöpaikkaan matkan ( $d_k$ ), ja yhdellä matkoista auto ajaa ensin keräyspaikalle ( $d_k$ ) ja sen jälkeen kulkee reittiä  $s_t / 11$  mittaisen matkan päättyen lopulta lähtöpaikkaan reitin viimeisen keräyspiisteen kautta.

10) Lisäksi laskettiin kokonaismatka-aika laskemalla yhteen Google Mapsin antamat matka-ajat sekä lisäämällä tähän 2 \* (painotettu keskimääräinen matka-aika keräyspisteelle) \* [(autokuormien lukumäärä viikossa) - 1] sekä (autokuormien lukumäärä viikossa) \* (auton tyhjennykseen kuluva aika).

11) Keräilyn kokonaiskustannukset saatiin laskemalla seuraavat tekijät yhteen:

- Kokonaismatka \* (keräilyauton kilometrihintaa)
- Kokonaisaika \* (keräilyauton käytön tuntihinta)
- Keräilyastioiden hinta (sisältäen poiston ja mahdolliset huoltokulut)

Taulukoissa 2-4 esitetään keräyskustannusten laskennan vaiheita. Laskelmien mukaan vuotuinen keräilykustannus olisi noin 125 000 € Mikäli poistotekstiiliä kerättäisiin 4 kg/henkilö, yhden poistotekstiilittönnin keräyshinnaksi tulisi noin 75 €

*Taulukko 2 LSJH:n alueen kunnista kerättävän poistotekstiilin määrän arviointia . Oletuksena oli, että vuodessa keräykseen päätyy 4 kg poistotekstiiliä/asukas. Keräyspisteiden määrä kunnittain on esitetty taulukossa 1.*

Kunta	Asukasluku	Kertyvä Materiaali yhteensä		Kertyvä materiaali/keräyspiste	
		kg	m <sup>3</sup>	kg/vko	m <sup>3</sup> /vko
Turku	187604	750416	144	107202	21
Salo	53546	214184	41	26773	5
Lieto	19418	77672	15	38836	7
Rusko	6137	24548	5	12274	2
Marttila	2021	8084	2	8084	2
Kemiön saari	6872	27488	5	9163	2
Raisio	24283	97132	19	48566	9
Kaarina	32738	130952	25	65476	13
Mynämäki	7842	31368	6	15684	3
Nousiainen	3815	19260	4	19260	4
Masku	9675	38700	7	38700	7
Naantali	19068	76272	15	15254	3
Pöytyä	8503	34012	7	17006	3
Aura	3984	15936	3	15936	3
Sauvo	3047	12188	2	12188	2
Paimio	15398	42852	8	42852	8
Parainen	15398	61592	12	61592	12
Yhteensä	415664	1662656	320		

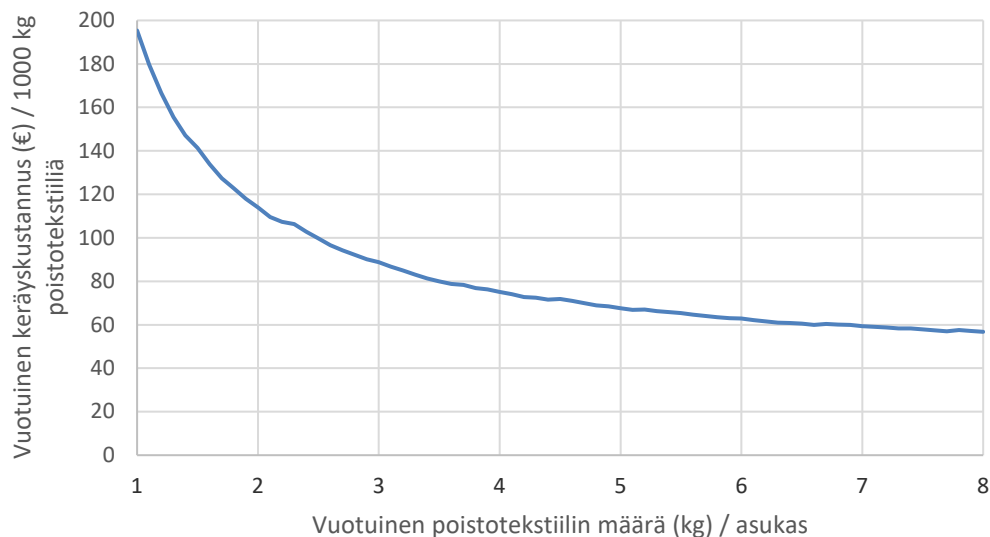
*Taulukko 3 LSJH:n alueen keräyspaikkojen kautta suunniteltu reitti, välimatkat ja -ajat, etäisyydet lähtöpaikasta, tarvittavien keräyssäiliöiden lukumäärä sekä viikossa kerääntyvän poistotekstiilin keskimääräinen tilavuus. \* kilometrisarakeessa tarkoittaa, että kuljetus sisältää lauttamatkan*

Keräyspaikka		Etäisyys ja ajomatka edelliseltä keräyspaikalta		Etäisyys ja ajomatka keräyskeskuksesta (LSJH)		Säiliöiden lukumäärä	Tyhjennettävä määrä /vko
		[km]	[min]	[km]	[min]	[kpl]	[m <sup>3</sup> ]
1	Mylly	10	10	10	10	3	9,3
2	Raision keskusta	2	4	11	9	3	9,3
3	Naantalın keskusta	10	14	21	20	3	8,3
4	Röölä	22	22	42	39	1	2,2
5	Merimasku	18	18	31	31	1	2,2
6	Velkua (Teersalo)	18	18	49	48	1	0,7
7	Askainen (kirkko)	20	21	33	31	1	1,5
8	Mietoinen	8	9	33	28	1	3,0
9	Mynämäki	8	12	35	27	1	3,0
10	Nousiainen	13	13	25	18	1	3,7
11	Masku	4	4	21	15	2	7,4
12	Vahto	20	22	22	22	1	2,4
13	Rusko	10	10	13	13	1	2,4
14	Moisio (K-Market)	7	9	9	8	2	7,2
15	Jäkrlä	3	3	13	11	2	7,2
16	Aura (kirjasto)	20	16	30	23	1	3,1
17	Pöytyä (kunnantalo)	12	9	39	30	1	3,3
18	Kyrö	13	16	42	33	1	3,3
19	Tarvasjoki	15	16	28	26	2	7,5
20	Marttila	11	12	36	32	1	1,6
21	Kuusjoki	30	27	62	43	1	2,1
22	Kiikala	24	28	83	53	1	2,1
23	Suomusjärvi	11	10	75	48	1	2,1
24	Kisko	21	23	78	56	2	4,1
25	Perniö	28	28	77	57	2	4,1
26	Särkisalo	16	17	81	64	1	2,1
27	Matilda	16	16	78	64	1	2,1
28	Kemiö	21	20	63	52	1	3,2
29	Taalintehdas	25	25	84	67	1	1,1
30	Kasnäs (saaristokylpylä)	18	19	97	82	1	1,1
31	Sauvo	66	60	31	25	1	2,3
32	Halikko, Prisma	28	32	47	35	6	22,7
33	Paimio	27	25	21	17	3	8,2
34	Piikkiö	11	10	13	12	2	7,6
35	Nauvo	56	80*	58	82	3	11,8
36	Skanssi	47	69*	12	16	5	17,6
37	Kaarina	6	7	8	14	6	21,6
38	Itäharju, Prisma	4	7	7	10	6	21,6
39	Kupittaa, CM	4	9	9	16	6	21,6
40	Keskusta	3	12	7	14	10	36,1
41	Tampereentien Prisma	3	8	4	7	6	21,6
42	Lieto	13	17	9	10	2	7,5
	LSJH	9	10	0	0	2	7,2
	Yhteensä	731	817	21,81	21,70	100	320

*Taulukko 4 Yhteenveto poistotekstiilien todennäköisistä vuotuista keräyskustannuksista sekä niihin vaikuttavista tekijöistä oletusarvoineen LSJH:n alueella*

Vaikuttavat tekijät	Arvioitu jäteauton tilavuus	30 m <sup>3</sup>
	Arvioitu keräysastian tyhjennykseen kuluva aika	3 min
	Arvioitu Auton tyhjennykseen kuluva aika	15 min
	Astioiden tyhjennykseen kuluva aika	300 min
	Yhden keräyskierroksen keskimääräinen ajoaika/pituus	120 min/112 km
	Keräyskierrosten (11 kpl) yhteenlaskettu ajoaika/pituus	1740 min (29 h)/1196 km
Keräys-kustannukset	Keräysauto – arvio	1,0 €/km 25 €/tunti
	Keräysastiat (100 kpl) – arvio	25000 €/vuosi
	Keräyksen kokonaiskustannus, kun kerätään poistotekstiiliä 4 kg/asukas	124902 €/vuosi 75,12 €/1000 kg poistotekstiiliä

Edellä esitetty laskelma perustuu oletukseen, että poistotekstiiliä kertyy 4 kg/alueen asukas. Tällöin keräyksen kokonaiskustannukset ovat noin 125 000 €. Kerättävän tekstiilin määrä vaikuttaa keräyskustannuksiin. Mikäli oletetaan, että kerättävän tekstiilin määrä osataan ennustaa ja pystytetään näin sopiva määrä keräysastioita ja jos poistotekstiiliä kerättäisiinkin tuplamäärä asukasta kohti eli 8 kg, keräilyn kustannukset olisivat hieman alle 190 000 €. Vastaavasti, jos oletetaan, että kuluttajat eivät innostu poistotekstiilikeräyksestä ja keruuastiat jäävät lähes tyhjiksi, yhden auton tekemä viikoittainen kierros tulisi maksamaan vuositasolla 70 000 €. Keräilykustannuksen laskemiseksi kaavaksi saadaan  $15455X$  (€) + 63900 (€), jossa X on kerätty poistotekstiilin määrä asukasta kohti. Kuten kuvan 3 perusteella voidaan havaita, poistotekstiilin vuotuiset keruukustannukset/1000 kg poistotekstiiliä ovat sitä alhaisemmat mitä enemmän poistotekstiiliä saadaan/asukas. Jos poistotekstiiliä kerätään 4 kg/asukas, vuotuiset keräyskustannukset ovat noin 75 €/1000 kg, ja jos sitä kerätään 8 kg/asukas, keräyskustannukset ovat noin 56 €/1000 kg. Alkuvaiheessa poistotekstiiliä saadaan ehkä vähemmän, jolloin hinta on korkeampi (esim. 1 kg/asukas keräyskustannukset ovat noin 195 €/1000 kg).



*Kuva 3 Kerättävän poistotekstiilin määrän (kg/asukas) vaikutus vuotuisiin keräyskustannuksiin/1000 kg poistotekstiiliä*



## 6.2 Lajittelun mallintaminen

### 6.2.1 Lajittelunopeus

Poistotekstiilien lajitteluvaihtoehtoja on kolme: manuaalinen, automaattiavusteinen ja automaattinen lajittelu.

Manuaalisen lajittelun esikuvana toimi hyväntekeväisyysorganisaatioiden toteuttama lajittelu. Esimerkiksi Humanan lajittelukeskuksessa ensimmäisen, karkeamman lajittelun minimitavoite on 850 kg tekstiiliä/päivä. Keskimäärin yksittäinen lajittelija käsittelee 1000-1100 kg tekstiiliä päivässä. Siten myös laskentamallissa oletettiin, että lajittelija lajittelee 1000 kg poistotekstiiliä päivässä (8 tunnin työvuoro).

Automaattiavusteisen lajittelun esikuvina toimivat UFF:n lajittelukeskus Klaukkalassa sekä saksalainen poistotekstiiliä lajitteleva ja käsittelevä organisaatio, joissa tekstiilejä kuljettavat liukuhihnat nopeuttavat lajittelijoiden työtä. UFF:ssa lajitellaan noin 1500 kg tekstiiliä/päivä ja Saksassa noin 2000 kg/päivä. Täten laskentamalli olettaa, että automaattiavusteisella lajittelulla on mahdollista lajitella noin 2000 kg tekstiiliä päivässä, koska lajittelussa ei tarvitse huomioida esimerkiksi vaateen kuntoa sillä tavalla kuin UFF:n tekee määritellessään kullekin vaatteelle kunnan mukaisen jakelukanavan. Lisäksi liukuhihnojen yhteyteen olisi mahdollista lisätä erilaisia optisia laitteita, jotka voisivat auttaa tekstiilimateriaalien tunnistamisessa.

Automaattisen lajittelun perustana olivat Jaakko Zittingin kokoamat tiedot koskien Fibersort-linjastoa, joka on IR-optiseen tunnistukseen perustuva automaattinen lajittelulaitteisto (Zitting, 2018). Fibersort-linjasto pystyy lajittelemaan 1200 kg poistotekstiiliä tunnissa. Mikäli kaikki Suomessa tällä hetkellä sekajätteeseen päätyvä poistotekstiili kerättäisiin ja toimitettaisiin lajitteluun, se voitaisiin mahdollisesti lajitella viidellä Fibersort-linjastolla, jos ne toimisivat ympäri vuorokauden vuoden jokaisena päivänä. Linjastolla työskentelee jatkuvasti kaksi työntekijää, joista toinen toimittaa lajiteltavaa materiaalia ja toinen siirtää lajitellut jakeet eteenpäin.

### 6.2.2 Lajittelussa työskentelevien palkat ja muut lajittelun kustannukset

Humanan lajittelukeskuksen johtajien mukaan lajittelijoiden tulee olla palkattuja ammattilaisia. Vaikka lajitteluun liittyvät tehtävät voivat vaikuttaa yksinkertaisilta, osittain työkyvyttömiä ja tukityöllistettävien henkilöiden työskentely lajittelijoina ei ole siten realistista. Täten laskentamalli olettaa, että lajittelua tekevät työntekijät on palkattu työsuhteeseen noin 2000 euron bruttokuukausipalkalla. Muita kustannuksia ovat työehtosopimuksen mukaiset lisät, jos lajittelua tehdään useammassa vuorossa tai viikonloppuisin laitteiden käytön tehostamiseksi.

Lisäksi lajittelukeskuksessa tarvitaan muita työntekijöitä, kuten työnjohtajia, sekä automaatioasteen noustessa myös asiantuntijoita, jotka pystyvät tarvittaessa säätämään ja korjaamaan laitteita sekä kehittämään toimintaa. Näiden henkilöiden palkkakustannukset ovat korkeammat kuin lajittelijoiden.

Lajitteluun liittyviä muita kuluja ovat tilakustannukset sekä automaation vaatimat investointikustannukset. Mallissa investointikustannuksille on laskettu viiden prosentin korko ja poistoajaksi viisi vuotta. Tällöin investointien vuosikustannus on noin 23 % investoinnin määrästä.

### 6.2.3 Lajittelukeskusten lukumäärä

Mikäli poistotekstiilit lajitellaan manuaalisesti, laskentamalli mahdollistaa sen, että lajittelu hoidetaan paikallisesti keräyskeskuksissa. Tällöin oletamus on, että lajittelun tehokkuus ja kustannukset ovat kokonaistarkastelussa samoja riippumatta siitä lajitellaanko poistotekstiilejä yhdessä tai 18 eri paikassa, koska lajittelijoita - mitkä aiheuttavat suurimmat kustannukset - tarvitaan kaikkiaan yhtä paljon kummassakin vaihtoehdossa. On mahdollista, että kaikki Suomessa kertyvä poistotekstiili (> 10 kg/asukas) voitaisiin lajitella viidellä lajittelulinjastolla Käytännössä kahdenkin lajittelulinjaston

saaminen tehokkaaseen käyttöön olisi hyvä saavutus. Automaattivusteisia lajittelukeskuksia voisi periaatteessa olla useita. Laskentamallissa oletetaan kuitenkin, että automaattivusteinen lajittelu toteutetaan ja on paras toteuttaa keskitysti.

### 6.3 Kuljetusten mallintaminen

Mikäli poistotekstiilin lajittelu keskitetään, kerätty poistotekstiili pitää kuljettaa alueellisista keräyskeskuksista lajittelupisteisiin. Malli olettaa, että alueelliset keräyskeskukset sijaitsevat maakuntien keskustaupungeissa (maakuntakeskuksissa). Weberin piste eli väestöllinen keskipiste, johon asukkaiden yhteenlaskettu etäisyys on lyhin, sijaitsee Suomessa Hämeenlinnan pohjoispuolella Hauholla. Tämän vuoksi malli laskee kuljetusmatkat eri maakuntien keräyskeskuksista mahdollisiin lajittelupisteisiin Tampereelle ja Hyvinkäälle, jotka sijaitsevat kohtuullisen/tarpeeksi lyhyen matkan päässä väestöllisestä keskipisteestä. Mallin kolmas lajittelupaikka on Turku, sillä LSJH suunnittelee ja valmistelee poistotekstiilin käsittelylaitoksen sijoittamista sinne. Laskentamallin perusteella arvioitiin, että jos poistotekstiiliä kertyy jokaisesta maakunnasta tasaisesti suhteessa sen väestömäärään (ja Uudenmaan poistotekstiilin keräyskeskus sijaitsee Hyvinkäällä), poistotekstiilin keskimääräinen kuljetusmatka maanteitse Hyvinkäälle on 200 km, Tampereelle 216 km ja Turkuun 272 km.

Malli olettaa, että poistotekstiilit kuljetetaan täysperävaunullisilla rekoilla. Muut kuljetusvaihtoehdot, kuten rautatiekuljetus, eivät ole tällä hetkellä realistisia. Rekkakuljetuksen tehokkuus määräytyy pitkälti sen perusteella, kuinka tiiviisti poistotekstiili saadaan pakattua. Remeon arvion mukaan täysperävaunulliseen rekkaan mahtuu 24 tonnia poistotekstiiliä. Moni asia vaikuttaa täysperävaunullisen rekan kuljetuskustannuksiin, mutta mallissa kuljetusten hinnaksi arvioitiin 1,70 €/km, kun rekka kulkee lastattuna. Koska Suomessa tavaroiden kuljetusreitit kulkevat pitkälti Etelä-Suomen satamista ja logistiikkakeskuksista pohjoiseen, on mahdollista, että rekkojen tyhjiä paluukuljetuksia voitaisiin hyödyntää poistotekstiilin kuljettamiseen. Tällöin kuljetuskustannukset olisivat huomattavasti alhaisemmat kuin mallin arvioimat kustannukset.

### 6.4 Poistotekstiilin esikäsittely

Kuitukoostumuksen mukaan lajitellulle tekstiiliraaka-aineelle on jo jonkin verran kysyntää. Kysyntää on etenkin suuremmille erille suhteellisen tasalaatuista ja puhdasta materiaalia, kuten pesulan liinavaatepoistoja, joita voidaan hyödyntää ilman suurempaa käsittelyä. Jos taas tekstiiliraaka-aine kerätään pienissä erissä kuluttajilta tai muista lähteistä ja lajitellaan, se on todennäköisesti varsin heterogeenistä. Lisäksi se voi sisältää kovia osia, kuten nappeja ja vetoketjuja. Tällaisen materiaalin hyödyntäminen ilman lisäkäsittelyä on varsin rajallista.

Mekaaniseen kierrätykseen voidaan tarvittaessa sisällyttää seuraavat käsittelyt:

- Pesu
- Valkaisu / jälkivalkaisu
- Otsonointi
- Höyrytys

Poistotekstiilin pesu on kokonaisuudessaan varsin kallis toimenpide, sillä tekstiilien laajamittaisen kuivatuksen järjestäminen on haastavaa ja kallista. Nykyisin käytössä olevilla prosesseilla pesukustannusten arvioidaan olevan yli 2 €/kg. Poistotekstiilien valkaisu tai jälkivalkaisu olisi periaatteessa mahdollista suorittaa niin, että mekaanisen kierrätyksen lisäksi tekstiilejä käsiteltäisiin joillakin kemiallisen kierrätyksen prosesseilla. Tällöin valkaisu-kustannukset voisivat mahdollisesti olla varsin kohtuulliset. Otsonoinnin ja höyrytyksen kustannuksista mallissa on käytössä vain hyvin karkeat arviot.

## 6.5 Poistotekstiilin kierrätys

Mekaanisessa kierrätyksessä on kaksi erillistä vaihetta, repiminen ja karstausta. Kumpikin vaihe vaatii oman ja varsin kalliin laitteiston. Lisäksi mekaanisen kierrätyksen linjastoon kannattaa yhdistää laite, joka poistaa tekstiilien kovat osat.

Ranskalainen Laroche<sup>1</sup> ja espanjalainen Margasa<sup>2</sup> valmistavat tekstiilien mekaanisen kierrätyksen linjastoja. Repimiskustannusten laskennassa käytettiin lähtöarvoina sekä Larochen että Margasan laitteiden hinta-arviota ja teknisiä ominaisuuksia. Laskentamallissa käytetyt lukuarvot ovat yritysten antamia arvioita, koska laitteet ja linjastot räätälöidään aina asiakkaan tarpeiden ja sijoituspaikan mukaan. Kummankin laitetoimittajan hinta-arvio linjastolle oli noin 1-1,5 miljoonaa euroa. Koska laitteistojen tekniset ominaisuudet, kuten käsiteltävän poistotekstiilin määrä/tunti tai energiankulutus, poikkeavat toisistaan, linjastojen kokonaiskustannuksissa on laitteistokohtaisia eroja.

Karstauksen kustannusten arvioitiin olevan suunnilleen yhtä suuret kuin repimisen. Kustannukset laskettiin yhdelle kilolle käsiteltäviä poistotekstiiliä, sillä karstausta- ja repimislaitteistot ovat suunnilleen samankokoiset. Kovien osien poistokustannuksista ei ollut saatavilla tarkempaa tietoa. Koska myös tämä työvaihe vaatii todennäköisesti merkittävän laiteinvestoinnin, sen kustannusarvio oli 0,10 €/kg käsiteltäviä poistotekstiiliä.

Puuvillan kemiallisessa kierrätyksessä puuvillainen poistotekstiili liuotetaan ja liuos kehrätään uudeksi kuiduksi (selluloosamuuntokuiduksi), josta voidaan valmistaa lankaa ja edelleen neuloksia ja kankaita tai kuitukangasta. Kemiallinen kierrätys vaatii merkittäviä, noin 10 miljoonaa euron laiteinvestointeja (Heikkilä ym., 2018). Kemiallinen käsittely sisältää kaksi vaihetta: alkaalivaiheen ja happovaiheen. Kummassakin vaiheessa tarvitaan kemikaaleja (lipeää ja rikkihappoa) liuotukseen sekä energiaa, sillä vaiheet tapahtuvat korkeassa lämmössä. Kemiallinen kierrätys muistuttaa paperitehtaiden prosesseja. On siten todennäköistä, että Suomessa osataan rakentaa laitos, joka kierrättää puuvillaista/selluloosapohjaista poistotekstiiliä kemiallisesti uuden kuidun tuottamiseksi. Kierrätysprosessin kemikaalikustannukset on laskettu mallissa kemikaalien maailmanmarkkinahintojen perusteella sekä sen perusteella, kuinka paljon näitä kemikaaleja tarvitaan ja kuinka paljon niitä pystytään käyttämään uudelleen. Kemiallisen kierrätyksen energiakustannuksissa huomioitiin ominaislämpökapasiteettien avulla laskettu alkaali- ja happoseosten lämmityksen vaatima energiamäärä sekä arvioitu lämmön talteenotto-prosentti. Oletus oli, että lämmittäminen tapahtuu sähköenergialla, josta maksetaan suurteollisuuden yleisesti maksama hinta.

Kemiallinen kierrätys on kallista etenkin suurien laiteinvestointien vuoksi. Toisaalta kemiallinen kierrätys vaatii vähemmän muita käsittelyitä, kuten kovien osien irrotusta, pesua tai valkaisua. Kemiallisessa kierrätyksessä sekoitemateriaalit eivät myöskään ole niin suuri ongelma kuin mekaanisessa kierrätyksessä. Täten kemiallisessa kierrätyksessä voidaan hyödyntää suurempi osa poistotekstiilistä kuin mekaanisessa kierrätyksessä, jolloin sen suhteellinen hinta laskee.

Laskentamallilla voitiin laskea mekaanisen ja kemiallisen kierrätysmenetelmän kustannukset sen perusteella, työskennelläkö kierrätyslaitoksessa vuorotyönä vai ei. Käytännössä kemiallinen kierrätys tulisi olemaan prosessiteollisuuden tyypillisen toimintamallin mukaisesti ympäri vuorokauden ja vuoden jatkuvaa. Tällöin 1- tai 2-vuorotyön kustannusten laskeminen ei vastaa todellista tilannetta. Mekaanista kierrätystä voitaisiin periaatteessa tehdä vain yhdessä vuorossa. Suurien laiteinvestointien vuoksi kierrätystä pitäisi kuitenkin tehdä vuorotyönä, jotta kierrätetyn kuidun kilohinta voitaisiin pitää kohtuullisena. Toisaalta tämä edellyttää myös sitä, että poistotekstiiliä on tarpeeksi tarjolla.

<sup>1</sup> <https://www.laroche.fr/en>

<sup>2</sup> <http://www.margasa.com/en>

## 6.6 Lähtöoletukset mallia testatessa

Mallin avulla laskettiin, kuinka paljon kilo mekaanisesti tai kemiallisesti kierrätettyä tekstiilikuitua tulisi maksamaan. Malliin asetettiin seuraavat lähtöarvot ja oletukset:

- Poistotekstiiliä päätyy sekajätteeksi 10 kg/Manner-Suomen asukas. Tästä saadaan kerättyä 40 % luvussa 5 esitetyllä tavalla.
- Keräyskeskuksia on 18, yksi kunkin maakunnan keskuskaupungissa. Yhden keräyskeskuksen vuosikustannus on keskimäärin 75 000 €
- Käytössä on esilajittelu, jossa kerätystä poistotekstiilistä poistuu 20 %. Esilajittelun aiheuttamat lisäkustannukset ovat hyvin pienet kokonaisuuden kannalta.
- Käytössä on keskitetty täysautomaattinen lajittelu, joka toimii kahdessa vuorossa. Lajittelu tapahtuu Turussa.
- Lajittelussa tekstiilit jaetaan seuraaviin luokkiin:
  1. Puuvilla - puuvillaa yli 90 %
  2. Puuvilla 2. laatu - puuvillaa 80-90 %
  3. Villa
  4. Polyesteri - polyesteriä yli 90 %
  5. Polyesteri 2. laatu - polyesteriä 80-90 %
  6. Farkku
  7. Akryyli
  8. Polyamidi
  9. Viskoosi
  10. Luonnonkuidut, muu kuin puuvilla tai villa
  11. Muu hyödyntämiskelpoinen tekstiilimateriaali
  12. Lajittelukelvoton materiaali / energiajäte
  13. Tämän lisäksi otetaan talteen tekstiilipöly ja metallit
- Lajittelu- ja esikäsittelylaitokset sijaitsevat niin lähellä toisiaan, ettei kuljetuksista koidu merkittäviä kustannuksia.
- Kierrätysmenetelmistä verrataan puuvillan kemiallista kierrätystä ilman muita käsittelyjä sekä mekaanista kierrätystä, johon sisältyy kovien osien poisto, repiminen ja karstausta.
- Sekä kemiallisen että mekaanisen kierrätyksen kustannukset on laskettu sillä perusteella, että laitteisto on käytössä ympäri vuorokauden ja vuoden.

## 7. Mallin antamat tulokset

Tässä luvussa mallia on testattu niillä lähtöarvoilla, jotka tämän hetken tietojen mukaan vaikuttavat realistisilta arvoilta silloin, kun poistotekstiilin kierrätys on Suomessa laajamittaisessa käytössä. Mallin antamia tuloksia analysoidaan tarkemmin luvussa Johtopäätökset.

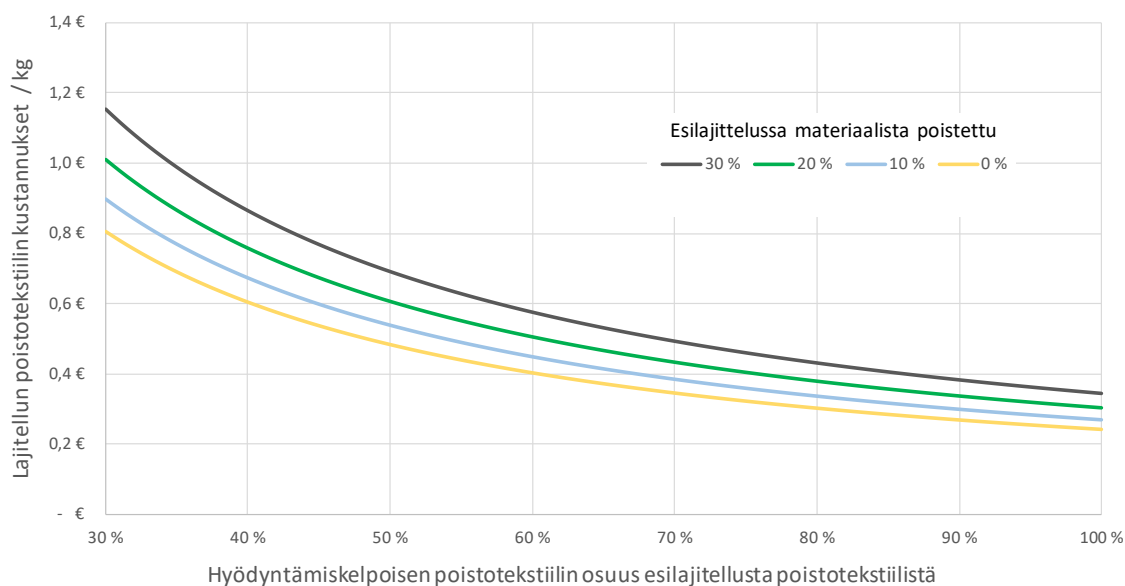
### 7.1 Keräys- ja lajittelukustannukset

Taulukossa 5 esitellään laskentamallin laskemat vuosittaiset kustannukset, jotka aiheutuvat poistotekstiilin keruusta ja lajittelusta. Oletuksena oli, että kaikki lajitteluun päätynt poistotekstiili saatiin lajiteltua. Mikäli poistotekstiiliä kerätään 4 kg/Manner-Suomen asukas ja 80 % tästä päätyy lajitteluun, keräily- ja lajittelukustannukset ovat yhteensä 5,3 miljoonaa euroa.

*Taulukko 5 Laskentamallin laskemat vuosittaiset kustannukset, jotka aiheutuvat poistotekstiilin keruusta ja lajittelusta*

Vaihe	Vuosikustannus
Keräys	2 075 144 €
Keräyskeskukset	1 350 000 €
Kuljetukset keräyskeskusten ja lajittelun välillä	337 171 €
Täysautomaattinen lajittelukeskus	1 540 657 €
<b>Yhteensä</b>	<b>5 302 942 €</b>

Kaikkea lajitteluprosessin läpikäynyttä materiaalia ei pystytä hyödyntämään uusioraaka-aineena, sillä esimerkiksi Fibersort-linjasto ei kykene lajittelemaan kaikkea kuluttajilta tulevaa poistotekstiiliä (Zitting, 2018). Tällöin lajittelematon tekstiilierä voidaan yrittää lajitella käsin tai se hyödynnetään energiana. Todennäköisesti iso osa tästä erästä on vaikeasti kierrätettävää nykyisillä teknologioilla. Hyödyntämiskelpoiseksi todetun poistotekstiilin osuus koko lajittelusta tekstiilierästä määrittelee siten sen kilohinnan. Kuvasta 4 nähdään, miten varsinaisen lajitteluvaiheen läpäisseen ja hyödyntämiskelpoisen tekstiilin osuuden kasvu alentaa poistotekstiilin keräily- ja lajittelukustannuksia suhteessa hyödyntämiskelpoisen tekstiilin määrään. Kuvassa on esitetty neljä vaihtoehtoa esilajittelussa poistetun poistotekstiilin osuudelle: 0 % (ei esilajittelua), 10 %, 20 % tai 30 %. Jos 20 % kerätystä tekstiilistä poistetaan esilajittelussa ja 70 % esilajitellusta tekstiilistä saadaan lajiteltua varsinaisessa lajittelussa, kierrätyskelpoisiin jakeisiin lajitellun poistotekstiilin hinta on 0,43 €/kg (430 €/1000 kg).



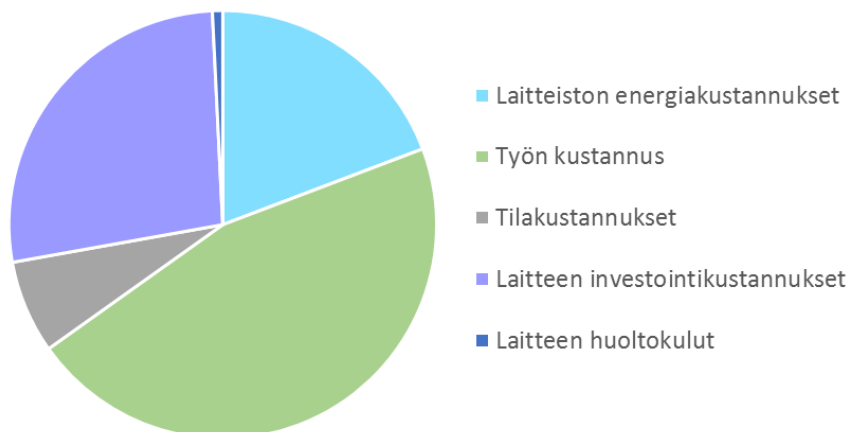
*Kuva 4 Varsinaisen lajitteluvaiheen läpäisseen ja hyödyntämiskelpoisen tekstiilin osuuden vaikutus poistotekstiilin keräys- ja lajittelukustannuksiin*

## 7.2 Mekaanisen kierrätyksen kustannukset

Etenkin kuluttajilta kerätylle ja lajitellulle poistotekstiilille on tällä hetkellä rajallisesti käyttöä ilman jatkokäsittelyä. Esimerkiksi LSJH on joutunut toimittamaan energiajätteeksi osan Telaketju-hankkeessa toteutetun poistotekstiilien keräyspilotin aikana saadusta materiaalista, sillä sille ei löytynyt hyödyntäjää. Näin ollen lajiteltu poistotekstiilimateriaali pitää jatkokäsitellä, jotta se kelpaa uusien tuotteiden raaka-aineeksi ja sillä on laajempaa kysyntää.

Edellä aloitettua prosessilaskentaa jatketaan olettaen, että 20 % kerätystä poistotekstiilistä poistetaan esilajittelussa ja että 30 % esilajittelusta tekstiilistä poistetaan varsinaisessa lajittelussa. Tällöin jäljelle jää noin 2,24 kg lajiteltua kierrätyskelpoista poistotekstiiliä/Manner-Suomen asukas. Mikäli nämä tekstiilit kierrätetään mekaanisesti, niiden repimiskustannukset ovat Larocheen laitteistolla 0,20 €/kg ja Margasan laitteistolla 0,33 €/kg. Linjastojen käyttöaste vaikuttaa merkittävästi kustannuksiin. Jos Suomessa kertyvä kierrätyskelpoinen poistotekstiili revittäisiin em. laitteilla, Larocheen linjaston käyttöaste olisi yli 80 % ja Margasan alle 70 %. Poistotekstiilin repimiseen tarvittaisiin siten kaksi Larocheen linjastoa tai kolme Margasan linjastoa, jos niitä käytettäisiin ympäri vuorokauden ja vuoden. Mikäli tekstiilien määrä olisi hieman pienempi, myös Margasan linjastoja tarvittaisiin vain kaksi, mikä alentaisi investointikustannuksia noin 30 %. Laitteistojen välinen hintaero olisi silloin pienempi. Toisaalta, vaikka linjaston käyttöaste olisi alle 70 %, tavallinen kolmivuorotyö ei aivan riittäisi käyttöasteen saavuttamiseen (juhlapyhät ja suurimman osan viikonlopuista laitos voisi olla suljettuna). Todelliset repimiskustannukset eivät siten ole niin suuret kuin malli olettaa, ja laitteistojen välinen todellinen hintaero on hieman pienempi.

Kuvasta 5 nähdään, mitkä tekijät vaikuttavat Larocheen laitteiston repimiskustannuksiin. Laitteiston oletetaan olevan toiminnassa ympäri vuorokauden ja myös viikonloppuisin. Työkustannukset muodostavat lähes puolet kokonaiskustannuksista, vaikka laitteiston ylläpidossa ei tarvita montaa työntekijää. Investointikulut kattavat hieman yli neljänneksen ja energiakustannukset noin viidenneksen repimiskustannuksista.



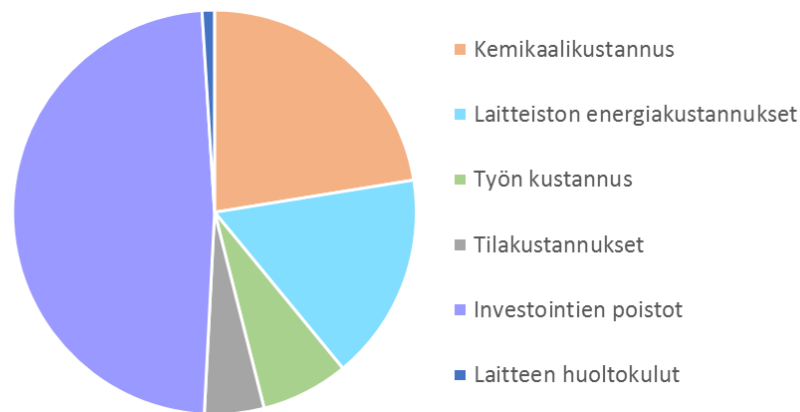
*Kuva 5 Larocheen laitteiston repimiskustannuksiin vaikuttavat tekijät ja niiden arvioitu osuus kustannuksista lasketuilla poistotekstiilimäärillä*

Ennen tekstiilien repimistä niiden kovat osat pitää irrottaa. Irrotus voidaan sisällyttää osaksi repimislinjaa, jolloin sen kustannus on noin 0,10 €/kg. Karstauskustannusten arvioidaan olevan samaa suuruusluokkaa kuin repimiskustannusten. Mekaanisen kierrätyksen kokonaishintaan lasketaan siten kustannukset, jotka aiheutuvat tekstiilien kovien osien poistosta, repimisestä ja karstauksesta. Tällöin mekaanisen kierrätyksen hinta-arvio on 0,50-0,60 €/kg.

### 7.3 Kemiallisen kierrätyksen kustannukset

Kemiallisen kierrätyksen kustannusten arviointia hankaloittaa se, että kierrätysmenetelmä on vielä kehitysvaiheessa ja kierrätyksessä käytettävät laitteistot ovat pieniä. Kemiallisen kierrätyksen kustannuslaskelmiin liittyy siten huomattavia epävarmuuksia. On esimerkiksi todennäköistä, että ainakin ensimmäisten laitosten rakentamisessa ilmenee ennakoimattomia haasteita, jotka voivat lisätä kustannuksia. Laskentamallissa käytettyjä lukuarvoja saatiin VTT:n aiemmissa projekteissa, kuten Tekstiilien kiertotalous (TEKI) (Heikkilä ym., 2018) ja Business from chemically REcycled POst-consumer TEXtiles (Repotex). TEKI projektissa puuvillan kierrätysprosessi vietiin laboratoriosta pilot-mittakaavaan ja Repotex projekti tähtäsi kierrätysteknologian kaupallistamiseen.

Kemiallinen kierrätys vaatii kalliita investointeja (Heikkilä ym., 2018). Laitteistoinvestointien arvioitiin olevan 34,9 miljoonaa euroa, josta laitteiden osuus on 10,5 miljoonaa euroa. Investoinnin rahoituksella sekä laitteistojen poistoajoilla on siten erittäin suuri vaikutus kustannuksiin. Kun oletetaan, että lajiteltua kierrätyskelpoista poistotekstiiliä kertyy 2,24 kg/Manner-Suomen asukas, kemiallisen kierrätyksen hinta on 0,85 €/kg. Pelkkien laiteinvestointien osuus on 0,40 €/kg. Kuvasta 6 nähdään, mitkä tekijät vaikuttavat kemiallisen kierrätyksen kustannuksiin kun huomioidaan vain pelkät laiteinvestoinnit. Tällöin oletetaan, että esimerkiksi lakkautettu paperitehdas voidaan pienin muutoksin ja uusin laittein muuttaa laitokseksi, joka soveltuu poistotekstiilien kemialliseen kierrätykseen.



Kuva 6 Kemiallisen käsittelyn kustannusten jakaantuminen, kun investointikuluissa on huomioitu vain laitteistojen investoinnit. (Heikkilä ym., 2018)



## 8. Yhteenveto ja johtopäätökset

Tässä työssä arvioitiin poistotekstiilin käsittelyprosessien kustannuksia mallinnuksen avulla. Mallinnuksessa laskettiin poistotekstiilin erilliskeräyksen aiheuttamat kustannukset, tutkittiin eri vaihtoehtoja kerätyn materiaalin käsittelylle ja kuljetukselle sekä verrattiin eri lajitteluvaihtoehtoja hajautetusta ja manuaalisesta lajittelusta automaattiseen ja keskitettyyn lajitteluun. Lopuksi laskettiin mekaanisen ja kemiallisen kierrätyksen kustannukset.

Mikäli kaikki lajittelun läpäissyt poistotekstiili kierrätettäisiin mekaanisesti ilman puhdistusta tai valkaisua, sen hinta olisi noin 1,0 €/kg. Puhdistus ja valkaisu nostaisivat kustannuksia. Kemiallisesti kierrätetyn poistotekstiiliraaka-aineen hinta olisi noin 1,3 €/kg, jos kaikki lajittelun läpäissyt poistotekstiili saataisiin kierrätettyä. Kemiallisen käsittelyn myötä raaka-aine olisi puhdistettua ja valkaistua eli se olisi laadultaan lähellä uusista raaka-aineista tehtyä materiaalia. Mallissa on kuitenkin tehty sellainen yleistys, että kaikki materiaali menee joko mekaaniseen tai kemialliseen kierrätykseen. Mekaanisen kierrätyksen osalta tämä on teoriassa mahdollista, mutta silti käytännössä epätodennäköistä, sillä tietyt kuituyhdistelmät eivät sovellu hyvin mekaanisesti kierrättämällä valmistettuihin tuotteisiin ja käyttökohteisiin. Laskennassa käytetty kemiallinen kierrätysmenetelmä sen sijaan sopii vain puuvillalle ja regeneroiduille selluloosamuuntokuiduille, joten mallinnuksen oletus ei ole käytännössä mahdollinen.

Vuonna 2018 puuvillan maailmanmarkkinahinta oli keskimäärin 1,8 €/kg (Markets Insider, 2018) ja polyesterin hinnat Itä-Aasiassa ovat luokkaa 1,4 €/kg (YnFx, 2019). Poistotekstiiliä kierrättämällä voitaisiin siten ainakin teoreettisesti tuottaa hintakilpailukykyistä raaka-ainetta. On tosin todennäköistä, että laskentamallissa huomioitujen käsittelyjen jälkeen mekaanisesti kierrätetyn tekstiiliraaka-aineen laatu ei vastaisi neitseellisestä materiaalista tehty raaka-ainetta.

On kuitenkin huomioitava, että tämän raportin laskelmat ovat suuntaa-antavia ja kuvaavat tilannetta, jossa poistotekstiiliin kierrätysekosysteemi on kokonaisuudessaan jo olemassa. Käytännössä ekosysteemin rakentaminen sekä kuluttajien oppiminen poistotekstiilin erillislajitteluun vievät aikaa. Lisäksi laskentamalli oletti, että poistotekstiili kierrätetään joko kemiallisesti tai mekaanisesti ja että kaikki lajiteltu materiaali saadaan kierrätettyä samaa menetelmää käyttäen. Käytännössä saattaa kuitenkin olla niin, että osalle materiaaleista toinen menetelmä sopii paremmin, jolloin kummatkin menetelmät tulisi ottaa käyttöön. Koska etenkin kemiallinen kierrätys edellyttää merkittäviä investointeja, kustannustehokas kierrätys vaatii laitteiston korkeaa käyttöastetta ja riittävää määrää kierrätettävää poistotekstiiliä. Tekstiilin saatavuudesta voi tällöin muodostua ongelma. Koska poistotekstiilien kierrätys toisaalta lisääntyy maailmalaajuisesti, toimintaan liittyvät haasteet ja kustannukset todennäköisesti pienenevät, kun menetelmät ja laitteet kehittyvät, työvoiman tarve pienenee ja laatu paranee prosessin eri vaiheissa.

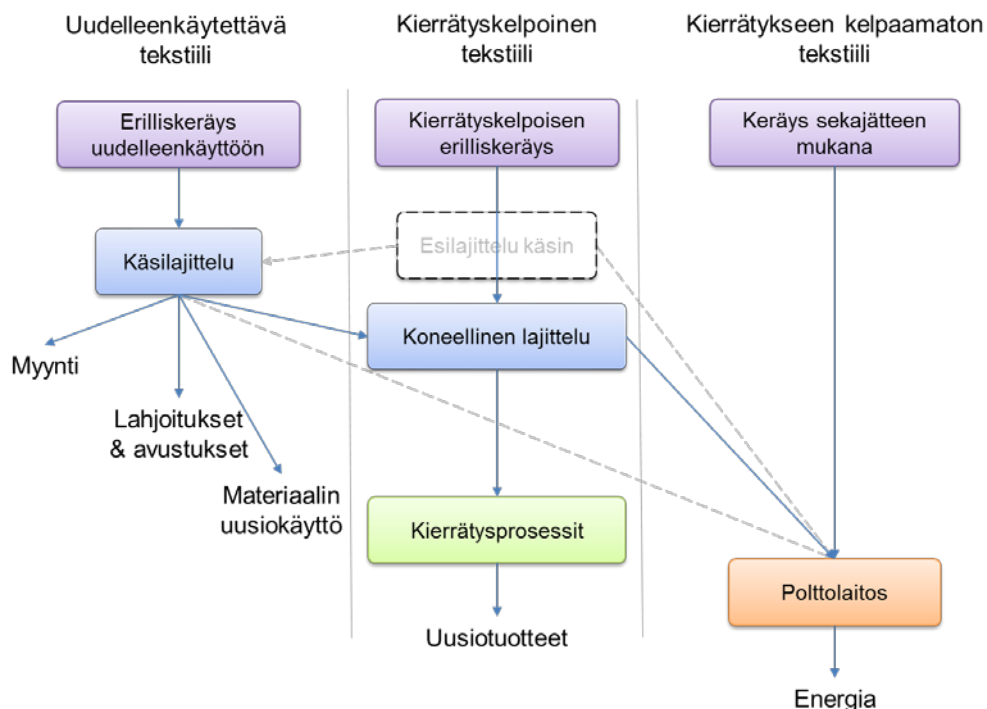
Myös poistotekstiilin materiaalikirjo pitää huomioida. Heikkilä ym. (2018) olettivat, että noin 30 % lajitellusta poistotekstiilistä on puuvillaa. Muita poistotekstiilin käyttökelpoisia materiaali-jakeita ovat esimerkiksi polyesteri, viskoosi ja villa. Suuri osa lajitellusta poistotekstiilistä on kuitenkin sekoitteita, jotka päätyvät jakeeseen ”muut hyödynnettävät poistotekstiilimateriaalit”. Laskentamallissa oletettiin, että kaikki eri kierrätetyt tekstiilimateriaalit tai -materiaaliseokset ovat hinnaltaan samanarvoista. Tämä ei kuitenkaan vastaa todellista tilannetta, sillä kierrätetty tekstiiliraaka-aine koostuu erilaisista materiaali-eristä. Osa eristä on arvokkaita, mutta osa niistä jouduttaneen myymään alle keskimääräisten tuotantokustannusten. Laskentamallin antama keskimääräinen kierrätyskustannus pitää täten suhteuttaa prosessissa kierrätetyn tekstiilin materiaalikirjoon. Materiaalikirjo ja lukuisat jakeet vaikuttavat myös mekaaniseen ja kemialliseen kierrätyksen käytäntöihin. Eri jakeet pitää kierrättää erikseen ja eri jakeiden kierrätyksen välissä joudutaan todennäköisesti tekemään erilaisia toimenpiteitä, kuten laitteiston puhdistusta tai asetusmuutoksia. Näistä koituvia kustannuksia malli ei huomioi.

Kuva 2 sivulla 14 esitti prosessin eri poistotekstiilityyppien käsittelylle. Tämä prosessimalli luotiin yhdessä poistotekstiilialan asiantuntijoiden kanssa pidetyn työpajan tulosten perusteella. Näin ollen tuo malli on tavallaan ensimmäinen tavoite poistotekstiilin kierrätys- ja käsittelyprosessien kehittämiseksi. Pidemmällä tähtäimellä tuotakin mallia voisi logistiikan näkökulmasta kehittää eteenpäin ainakin kahdella seuraavalla tavalla: 1) Mikäli poistotekstiilien siirtoa ”putkesta” toiseen joudutaan tekemään,

siirtojen pitäisi olla vain jätehierarkiassa alempaan suuntaan. 2) Esilajittelusta pitäisi päästä eroon tavalla tai toisella.

Tällä hetkellä ongelma on se, että poistotekstiiliä ei juurikaan kierrätetä. Sen hyödyntämismahdollisuuksia ovat siten uudelleenkäyttö ilman isompaa käsittelyä tai poltto jätteenä. Hyväntekeväisyysorganisaatiot saavat paljon tekstiilejä, joille heillä ei ole käyttöä. Organisaatioiden on kuitenkin taloudellisesti kannattavampaa lahjoittaa heikkolaatuiset tuotteet kehitysmaihin kuin maksaa niiden jätteenkäsittelystä. Toimiva poistotekstiilijärjestelmä voisi kuitenkin kannustaa hyväntekeväisyysjärjestöjä nostamaan rimaa uudelleenkäyttöön päätyvien tekstiilien suhteen, varsinkin jos tarpeettoman lajitellun tekstiilin toimittamisesta kierrätykseen saisi korvauksen. Korvaus voisi vastata keräyskustannuksia eli se olisi 0,2-0,3 €/kg. Tällöin voidaan olettaa, että jos poistotekstiilit täyttävät hyväntekeväisyysjärjestön kriteerit (tekstiilit ovat puhtaita ja ehjiä), kuluttaja antaa hyväntekeväisyysjärjestön valita poistotekstiileistä sille sopivat tekstiilit, sillä hän tietää, että muut tekstiilit päätyvät kierrätykseen. Vastaavasti, jos kuluttaja tietää, että poistotekstiili ei kelpaa hyväntekeväisyysjärjestöille mutta se kelpaa kierrätykseen, tekstiilien keruujärjestelmä ohjaa tekstiilin kierrätykseen. Lisäksi järjestelmä ohjaa kierrätykseen kelpaamattoman tekstiilin energijätteeksi. Kuluttajalle riittäisi siten se, että hän tietää uudelleenkäytettävän ja kierrätyskelpoisen tekstiilin vähimmäiskriteerit, ja järjestelmä siirtää poistotekstiilit tarvittaessa jätehierarkian alemmalle tasolle.

Jos edellä esitetty prosessi saadaan toimimaan hyvin, kuluttajat toimittavat uudelleenkäyttöön kelpaavat poistotekstiilit niitä kerääville organisaatioille. Tällöin uudelleenkäyttöön kelpaamattoman mutta kierrätyskelpoisen tekstiilin joukkoon (keruustoihin) päätyy niin vähän uudelleenkäytettävää materiaalia, ettei niitä kannata erotella. Tällöin toinen esilajittelun tarpeista / perusteista poistuu. Toisen esilajittelun perusteen (tarve poistaa haitalliset tekstiilit ennen kuin ne pilaavat tekstiilierän) poistaminen on vaativampi tehtävä. Saattaa olla, että kierrätykseen menevien poistotekstiilien keruu keräysastioiden avulla ei onnistu ilman, että mukaan päätyy aika ajoin myös haitallisia tekstiilejä, jotka pilaavat astian muita tekstiilejä. Lisäksi LSJH:n mukaan jopa valvotuille jäteasemille voi päätyä tällaisia haitallisia tekstiilejä, vaikka jäteaseman henkilökunta vastaanottaa poistotekstiilit. Toisaalta esilajittelun poistaminen on hyvä tavoite pitkällä tähtäimellä. Manuaalinen esilajittelu on työvoimavaltainen vaihe, johon liittyy merkittäviä työturvallisuusriskejä, kuten tekstiilien home tai materiaalin joukossa olevat vaaralliset esineet. Kuva 7 esittää tavoitteen eri poistotekstiilityyppien käsittelyprosesseille eli tavoitteen esilajitteluprosessin tekemisestä tarpeettomaksi.



Kuva 7 Tavoite eri poistotekstiilityyppien käsittelyprosesseille, jossa kuluttajat osaisivat hoitaa esilajittelun

Koko Suomen kattavia poistotekstiilin käsittelyprosesseja suunniteltaessa tavoitteena tulee olla myös se, että kaikki toimijat sitoutuvat näihin prosesseihin. Suomessa ei vielä poistotekstiilin kokonaisvaltaista kierrätysjärjestelmää, vaan monia järjestelmiä toimii rinnakkain. Osa Suomessa toimivista vaatekauppaketjuista kerää poistotekstiiliä ja toimittaa sen lajitteluun esimerkiksi Hollantiin. Tällöin vaatekauppaketju ei välttämättä hyödy kierrätyksestä taloudellisesti, mutta toimintaa rahoitetaan sillä, että lajittelijat erottelevat uudelleenkäyttöön kelpaavan materiaalin ja myyvät sen. Tällöin ongelma on se, että läpinäkyvyys on varsin heikko uudelleenkäytettävän ja muun materiaalin osalta ja kierrätys voi olla mitä tahansa. Uutisiin on aika ajoin päätenyt tietoa siitä, että kierrätykseen kerättyä materiaalia on päätenyt polttoon (esimerkiksi Matteis & Argo, 2018). Koko Suomen kattavien prosessien luominen on haastavaa ja erityisesti kierrätystekstiilin käsittely edellyttää kalliita investointeja ja suuria volyymeja. Siksi on tärkeää, että lähtökohtaisesti kaikki Suomessa kerätty uudelleenkäyttöön kelpaamaton mutta kierrätyskelpoinen poistotekstiili päättyy kierrätykseen Suomessa.

Laskentamalli sisälsi monia oletuksia ja arvioita, jotka perustuivat muun muassa Telaketju-hankkeessa tuotettuun tietoon. Mallin avulla voitiin siten saada vain arvioita poistotekstiilin kierrätyskustannuksista. Mallia voi kuitenkin jatkossa tarkentaa, sillä poistotekstiilin erilliskeräyksen lisääntyessä tarjolla tulee olemaan enemmän ja tarkempaa tietoa poistotekstiileistä sekä niiden kierrättämisprosesseista kustannuksineen. Tietoa on myös mahdollista saada tekemällä tiiviimpää kansainvälistä yhteistyötä esimerkiksi eurooppalaisten laitevalmistajien ja käyttäjien kanssa.

Kun laskentamalli arvioi poistotekstiilin kierrätyskustannuksia, oletus oli, että kerättyä ja lajiteltua materiaalia ohjataan yhdenmukaisesti mallissa oletetulla tavalla, jolloin kaikille materiaalijakeille käytetään samoja kierrätys- ja käsittelymenetelmiä. Malliin voi kuitenkin syöttää erilaiset keräysmäärät ja -kustannukset kullekin maakunnalle sekä määritellä kullekin jakeelle sille sopivat kierrätys- ja käsittelymenetelmät. Koska eri poistotekstiilimateriaalien käyttökohteet poikennevat toisistaan, myös niiden käsittelytarpeet ovat todennäköisesti erilaiset. Kun jatkossa on tarjolla tarkempaa tietoa eri jakeiden käyttökohteista ja käsittelytarpeista, laskentamalli voi arvioida tarkemmin niiden tuotantokustannuksia. Samalla säilytetään kokonaiskuva koko kierrätysekosysteemin toimintakustannuksista sekä tuotetuista raaka-ainemateriaaleista.

Kansainvälisenä yhteistyönä voisi myös vertailla sitä, kuinka hyvin Suomeen suunniteltu poistotekstiilin kierrätysprosessi toimii kansainvälisesti, sekä sitä, kuinka paljon kierrätyskustannukset vaihtelevat eri maiden välillä. Lisäksi, koska mallin perusteella näyttää siltä, että jos käytetään sekä mekaanista että kemiallista kierrätystä, kemiallista kierrätystä harjoittavan laitoksen käyttöaste voi jäädä vajaaksi. Täten olisi hyvä selvittää, voisiko mallin maantieteellinen laajuus kattaa Suomen sijasta koko Itämeren alueen. Tällöin kierrätettävän poistotekstiilin määrä olisi huomattavasti suurempi ja kierrätysvaihtoehtoja olisi enemmän.

Tämä tutkimus tarkasteli poistotekstiilin kierrätysprosessiin käytännön tasolla ja alan toimijoiden näkökulmasta. Tutkimuksessa kerätyn aineiston avulla kierrätysprosessia olisi voitu tarkastella teoreettisemminkin. Tällöin olisi voitu esimerkiksi pohtia tarkemmin poistotekstiilin kierrätykseen liittyviä erityispiirteitä, kuten kolmen eri poistotekstiilin käsittelyprosessin haastetta ja eri prosessivaiheiden vaihtoehtoisia sijoittumiskohtia toimitusketjussa.

## Kirjallisuus

---

- Aquafil (2018) The ECONYL® Regeneration System. <http://www.econyl.com/regeneration-system/>. Viitattu 17.4.2018.
- Dahlbo H., Aalto K., Salmenperä H., Eskelinen H., Pennanen J., Sippola K., Huopalahti M. (2015) Tekstiilien uudelleenkäytön ja tekstiilijätteen kierrätyksen tehostaminen Suomessa. Suomen ympäristö 4. Ympäristöministeriö. <http://hdl.handle.net/10138/155612>
- DutchAwareness (2018) Chain management. <http://dutchawareness.com/chainmanagement/>. Viitattu 23.11.2018.
- Euroopan Komissio (2008) Jätedirektiivi 2008/98/EC. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0098&from=FI>. Viitattu 21.6.2018.
- Euroopan Komissio (2018) Kiertotalous: EU hyväksyi uudet kunnianhimoiset jätehuolto- ja kierrätys säännöt. Lehdistötiedote 22.5.2018. [http://europa.eu/rapid/press-release\\_IP-18-3846\\_fi.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_IP-18-3846_fi.htm). Viitattu 20.3.2019.
- Fattahi Meyabadi T., Mohaddes Mojtahedi M.R., Mousavi Shoushtari S.A. (2010) Melt spinning of reused nylon 6: structure and physical properties of as-spun, drawn, and textured filaments. *The Journal of the Textile Institute*, **101**(6), 527-537 <https://doi.org/10.1080/00405000802561085>.
- Fida (2018) Vuosikertomus 2017. <https://www.fida.info/vuosikertomus-2017/>. Viitattu 11.9.2018.
- Fibre2Fashion.com. (2019) <https://www.fibre2fashion.com/market-intelligence/textile-market-watch/polyester-filament-yarn-pfy-price-trends-industry-reports/5/>. Viitattu 19.3.2019.
- Heikkilä P. (toim.), Fontell P., Kamppuri T., Mensonen A., Määttä M., Pitkänen M., Raudaskoski A., Vehmas K., Vehviläinen M., Harlin A. (2018) The Relooping Fashion Initiative. VTT Research Report VTT-R-01703-18,.
- Heikkilä P., Cura K., Heikkilä J., Hinkka V., Ikonen T., Kamppuri T., Knuutila H., Kokko M., Lankiniemi S., Lehtinen L., Mäkiö I., Pitkänen M., Saarimäki E., Virta M., Zitting J., Harlin A. (2019) Telaketju - Towards Circularity of Textiles, Research Report VTT-R-00062-19.
- Hinkka V., Heikkilä P., Harlin A. (2018) Logistical preconditions for economical reuse of end-of-life textiles. Teoksessa Jahn C., Kersten W., Ringle C. (toim.) Logistics 4.0 and Sustainable Supply Chain Management: Innovative Solutions for Logistics and Sustainable Supply Chain Management in the Context of Industry 4.0., s. 107-123. (12<sup>th</sup> Hamburg International Conference of Logistics (HICL), Hamburg, Germany, 13.-14.9.2018.)
- Kamppuri T., Heikkilä P., Pitkänen M., Hinkka V., Viitala J., Cura K., Zitting J., Lahtinen T., Knuutila H., Lehtinen L. (2019) Tunnistusteknologiat tekstiilien kierrätyksessä. Tutkimusraportti VTT-R-00092-19, 28 s.
- Kiertovoimayhdistys (2018) <http://www.kivo.fi/>. Viitattu 11.9.2018.
- Lenzing (2016) TENCEL® - enabling 'circular economy' in the textile world & next-generation ecological fiber. <http://www.lenzing-fibers.com/presseinformationen/presseinformationen-detail/tencelR-enabling-circular-economy-in-the-textile-world-next-generation-ecological-fiber/>. Viitattu 10.10.2016.
- Markets Insider (2018) <https://markets.businessinsider.com/commodities/cotton-price>. Viitattu 24.10.2018.
- Matteis S., Agro C. (2018) What really happens to old clothes dropped in those in-store recycling bins. CBC News, 19.1.2018. <https://www.cbc.ca/news/business/clothes-recycling-marketplace-1.4493490>. Viitattu 19.3.2019.
- Palme A. (2017) Recycling of cotton textiles: Characterization, pretreatment, and purification. Chalmers University of Technology. Doctoral dissertation.
- Paszun D., Spychaj T. (1997) Chemical Recycling of Poly(ethylene terephthalate). *Industrial & Engineering Chemistry Research* **36**(4), 1373-1383.

- Tammilehto (2017) Taantuma vei muotikaupasta 400 miljoonaa - Seppälästä tuli tuorein konkurssiin haettu. Kauppalehti 22.8.2017. <https://www.kauppalehti.fi/uutiset/taantuma-vei-muotikaupasta-400-miljoonaa---seppalasta-tuli-tuorein-konkurssiin-haettu/jqKhMwBK>
- UFF (2018) Vuosikertomus 2017. [https://issuu.com/uff-yhdistys/docs/vuosikertomus\\_2017\\_issuu](https://issuu.com/uff-yhdistys/docs/vuosikertomus_2017_issuu). Viitattu 11.9.2018.
- Valvan Baling Systems (2018) Fibersort: Closing the loop in the textiles industry. <http://www.nweurope.eu/projects/project-search/bringing-the-fibersort-technology-to-the-market/undefined>. Viitattu 18.3.2019.
- Yamasaki Y. (2004) Overview of Recycling Technology in Textile Industry in Japan and the World. Japan: Japan Chemical Fibers Association, 2004, [http://www.seiservices.com/APEC/Presentations/pattayasymp/4\\_Overview\\_of\\_Recycling\\_Technology\\_in\\_Textile\\_Industry.pdf](http://www.seiservices.com/APEC/Presentations/pattayasymp/4_Overview_of_Recycling_Technology_in_Textile_Industry.pdf), Viitattu 12.3.2019.
- YnFx (2019) <http://www.yarnsandfibers.com/news/news-tags/polyester-prices>. Viitattu 20.3.2019.
- Zitting J. (2018) Tekstiilien tunnistusteknologiaa teollisessa mittakaavassa. Matkaraportti – Fibersort Demo Day, Valvan Baling Systems @ Amsterdam 14.03.2018. <https://workspace.vtt.fi/sites/telaketju/Shared%20Documents/Fibersort%20matkaraportti.pdf>

## Liite 1 - Haastatellut henkilöt ja tehdyt yritysvierailut

---

### Haastattelut ja muut keskustelut:

- |                                                                 |           |
|-----------------------------------------------------------------|-----------|
| • Heli Haapea, Kiertovoimayhdistys ry                           | 5.6.2017  |
| • Eeva Perälä ja Petteri Asikainen, Remeo Oy                    | 14.6.2017 |
| • Miia Jylhä ja Sini Ilmonen, Lounais-Suomen Jätehuolto Oy      | 21.6.2017 |
| • Jari Töyrynen, UFF                                            | 22.6.2017 |
| • Petteri Asikainen, Remeo Oy                                   | 23.1.2018 |
| • Marko Kokkonen ja Sini Ilmonen, Lounais-Suomen Jätehuolto Oy  | 24.1.2018 |
| • Antti Tuominen, UFF                                           | 25.1.2018 |
| • Heli Haapea, Kiertovoimayhdistys ry                           | 25.1.2018 |
| • Tarja Sillanpää ja Mika Laine, Rauman seudun jätehuoltolaitos | 14.3.2018 |
| • Oscar Engblom, Ilmakunnas Oy                                  | 29.6.2018 |

### Tutustumisvierailut:

- |                                                                     |              |
|---------------------------------------------------------------------|--------------|
| • Humanan lajittelukeskus, Saku, Viro                               | 29.9.2017    |
| • Toom Textiil, kierrätystekstiilin käsittelylaitos, Viljandi, Viro | 2.10.2017    |
| • Laroche, kierrätystekstiilin demotehdas, Cours-la-Ville, Ranska   | 24-25.1.2018 |

### Työpaja

26.3.2018

- |                    |                                  |
|--------------------|----------------------------------|
| • Daniela Bqain    | Paptic Oy                        |
| • Kirsti Cura      | Lahden ammattikorkeakoulu        |
| • Heli Haapea      | Suomen Kiertovoima ry            |
| • Ali Harlin       | VTT                              |
| • Jouko Heikkilä   | VTT                              |
| • Pirjo Heikkilä   | VTT                              |
| • Ville Hinkka     | VTT                              |
| • Sini Ilmonen     | Lounais-Suomen Jätehuolto Oy     |
| • Vesa Kallinen    | Fida International ry            |
| • Sakari Keipi     | Fida International ry            |
| • Jukka Kärkkäinen | Fida International ry            |
| • Päivi Lintula    | Turun seudun TST ry / TST-Textex |
| • Outi Luukko      | TouchPoint Oy                    |
| • Satumaija Mäki   | Suomen Tekstiili & Muoti ry      |
| • Inka Mäkiö       | Turun ammattikorkeakoulu         |
| • Jukka Pesola     | Pure Waste Textiles Oy           |
| • Antti Tuominen   | UFF                              |
| • Hanna Vänni      | Turun seudun TST ry              |
| • Jaakko Zitting   | Lahden ammattikorkeakoulu        |

## Liite 2 - Excel laskentataulukko

---

Telaketju-hankkeessa kehitetty laskentamalli on taulukkolaskentamalli. Sen ensisijaisena tavoitteena on arvioida, kuinka paljon Suomessa olisi mahdollista tuottaa poistotekstiilistä tehtyjä raaka-ainejakeita ja kuinka paljon se maksaisi eri prosessivaihtoehdoilla. Malli koostuu seuraavista osista:

- Yhteenveto-sivu, jossa esitetään kootusti eri prosessien (keräys, keräyskeskukset, kuljetukset, lajittelu, kierrätys) kustannukset ja saatujen poistotekstiilijakeiden määrät.
- Keräys-sivu, jossa voi arvioida kerättävän poistotekstiilin määriä ja keräyskustannuksia maakuntatasolla.
- Lajitteluvaihtoehdot-sivu, jossa voidaan laskea ja vertailla automaattisen, automaattivasteisen ja manuaalisen lajittelun kustannuksia.
- Käsittelyvaihtoehdot-sivu, jossa voidaan laskea eri käsittelyvaihtoehtojen (mekaanisen kierrätyksen karstausta ja repiminen, kemiallinen liuotuskäsittely, jälkivalkaus, otsonointi, kovien osien poisto) kustannuksia.

Laskentamalli pyrittiin rakentamaan niin joustavaksi, että kaikkia sen lukuarvoja pystytään periaatteessa muuttamaan, millä on vaikutus kokonaisuuteen. Mallin avulla voidaan lisäksi vertailla poistotekstiilin erilaisia prosessointivaihtoehtoja, mutta arvioitavien vaihtoehtojen määrä on käytännön syistä vielä rajallinen. Malliin voidaan kuitenkin jatkossa lisätä uusia prosessointivaihtoehtoja, kuten erilaisia käsittelyjä.

Poistotekstiilien keräilyä ja lajittelua tarkastellaan laskentamallissa maakunnittain, joita on Manner-Suomessa 18. Kunnallisten jätehuoltolaitosten toimialueet eivät kuitenkaan yleensä noudata maakuntarajoja. Täten malli ei kykene täysin huomioimaan sitä, miten jätehuoltolaitokset toimivat todellisuudessa alueellisesti. Maakunnittaista tarkastelua perusteleekin se, että maakunnista on saatavilla sellaisia tarkkoja tietoja, joita tarvitaan laskentamallissa, kuten pinta-ala- ja asukaslukutietoja. Tällaisten tietojen saaminen kunnallisten jätelaitosten toimialueista olisi hankalaa. Lisäksi, vaikka maakuntarajat ja maakuntien määrä ovat vuosien varrella muuttuneet, muutokset ovat vähäisempiä kuin muutokset kunnallisten jätelaitosten toimialueissa ja määrissä. Mallia voi kuitenkin tarvittaessa kehittää niin, että kunnallisten jätehuoltolaitosten toimialueet ovat tarkastelualueita.